

**ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES MATEMÁTICAS EXISTENTES PARA UN  
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADO EN  
TECNOLOGÍA TIPO CHIMENEA.**

**IVÁN DARÍO RAVELO ROJAS  
VICTOR ALFONSO SILVERA BOLAÑO**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA COSTA- CUC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**BARRANQUILLA – ATLÁNTICO.  
2011**

**ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES MATEMÁTICAS EXISTENTES PARA UN  
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADO EN  
TECNOLOGÍA TIPO CHIMENEA.**

**IVÁN DARÍO RAVELO ROJAS  
VICTOR ALFONSO SILVERA BOLAÑO**

**TRABAJO DE GRADO, PRESENTADO AL PROGRAMA DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA, PARA OBTAR TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA- CUC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**BARRANQUILLA – ATLÁNTICO.  
2011**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**Presidente de Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Barraquilla, septiembre 2011**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**Presidente de Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Barraquilla, septiembre 2011**

## **AGRADECIMIENTO**

### **El autor dedica.**

La excelente realización de este proyecto quiero dedicársela con todo mi amor a Dios, quien me dio el valor y la sabiduría para saber abortar el proyecto con mucho esfuerzo, paciencia e integridad con todos los que me rodearon en el transcurso de la elaboración.

A mi hijo Víctor Manuel Silvera Salas, por los momentos en que me encontraba muy estresado y me hacía sonreír con sus pequeñas travesuras.

A Mis Padres, esposa y familiares que estuvieron presentes en toda la formación y finalización de mi carrera y en un momento de mi vida fueron un apoyo para subir otro escalón.

A mis docentes y asesora de mi Trabajo de Grado la Ing. Milen Balbis que me Guio durante el proceso de redacción.

A mis amigos y compañeros que pusieron su grano de arena para el desarrollo y formulación de este proyecto, por creer en mí y acompañarme en este proceso.

**VICTOR SILVERA BOLAÑO.**

## **El autor dedica.**

Esta tesis es dedicada a Dios, mis padres y hermanos, a quienes agradezco de todo corazón su amor, cariño, comprensión, por confiar en mí y apoyarme para cumplir mis metas. En cada momento los llevo conmigo.

Agradezco a mi compañero de tesis por su confianza y lealtad. Porque a pesar de todos los obstáculos que se nos presentaron nunca se dio por vencido.

Agradezco a la doctora María Victoria De Murgas por confiar en mí y apoyarme en mis estudios.

Agradezco a la ingeniera Milen Balbis por la paciencia y dirección de este trabajo ya que lo hizo con mucho profesionalismo.

Agradezco a todas las personas que nos apoyaron leyendo, opinando y acompañándonos en los momentos que los necesitamos.

A mis amigos de la universidad que siempre estuvimos para apoyarnos unos con otros para al final todos cumplir nuestra meta de ser unos grandes profesionales para servir a la sociedad colombiana.

**IVAN RAVELO ROJAS**

## TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. ALCANCE Y OBJETO DE ESTUDIO .....	18
5. MARCO HISTORICO- CHIMENEA SOLAR.....	20
5.1. HISTORIA.....	20
6. MARCO CONCEPTUAL, ELEMENTOS NATURALES QUE INTERVIENEN EN LA CHIMENEA SOLAR.....	22
6.1. LA ENERGÍA SOLAR.....	22
6.2. LA RADIACIÓN SOLAR.....	22
6.3. EL EFECTO INVERNADERO.....	22
7. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VIENTOS EN LA ATMÓSFERA, PARA EL ESTUDIO DE LA CHIMENEA SOLAR .....	23
7.1. LOS ORÍGENES DEL VIENTO .....	23
7.2. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. (COLOMBIA) .....	24
7.3. LA PRESIÓN CON LA ALTURA.....	24
CAPITULO 3.....	26
8. IDEAS EN EL MUNDO CON LA TECNOLOGÍA TIPO CHIMENEA.....	27
8.1. CHIMENEA SOLAR FLOTANTE.(Inventor: Christos papagiorgiou, ib Nymion Str. GR-14563 kilissia, Athens (GR). ....	27
8.2. TORRE SOLAR ESTANQUE.....	29
8.2.1. Descripción Global .....	29
8.3. CHIMENEA DE CALOR LATENTE DE CONGELACIÓN (DE FUSIÓN - SOLIDIFICACIÓN). ....	30
8.4. LA TORRE SOLAR DE MONTAÑA .....	31
8.4.1. La evolución hacia la montaña solar .....	32
8.5. BI-DIRECCIONAL CHIMENEAS SOLARES POR ROBERT J. ROHATENSKY, EL CALOR SOLAR SISTEMA DE BOMBA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA (SHPEGS). ....	33
8.6. CHIMENEA SÚPER ALTA PARA FACILITAR EL INTERCAMBIO DE CALOR EN LA ATMOSFERA. ....	35
8.7. TWISTOWER TORRE SOLAR DE AIRE ASCENDENTE. ....	36
8.7.1. Aplicación de tecnología de torre.....	37

9.	RELACIÓN DE LOS DIFERENTES PROTOTIPOS Y PROYECTOS DE CHIMENEAS SOLAR DE AIRE ASCENDENTE.....	38
9.1.	EL PROTOTIPO MANZANARES.....	38
9.2.	EL PROYECTO AUSTRALIANO.....	38
9.3.	EL PROYECTO ESPAÑOL.....	38
9.4.	EL PROYECTO DE NAMIBIA.....	38
9.6.	EL PROTOTIPO CHILENO.....	39
CAPÍTULO 4.....		40
10.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	41
10.1.	DESCRIPCIÓN, CHIMENEA SOLAR.....	41
11.	PRINCIPIO MATEMÁTICO.....	42
11.1.	<i>MODELO MATEMÁTICO Y SUSTENTABLE DE LA CHIMENEA JVR.....</i>	43
11.2.	<i>MODELO MATEMÁTICO CHINEA SOLAR O TORRE SOLA DE TIRO ASCENDENTE.....</i>	46
12.	PARTES FUNDAMENTALES DE LA CHIMENEA.....	49
12.1.	COLECTOR.....	49
12.2.	TORRE.....	50
12.3.	TURBINAS.....	50
12.4.	OPTIMIZACIÓN.....	51
CAPÍTULO 5.....		52
13.	CÁLCULOS Y ANÁLISIS DEL PRÓTIDO DE LA CHIMENEA SOLAR.....	53
14.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA.....	56
15.	METODOLOGÍA.....	57
15.1.	TIPO DE ESTUDIO.....	57
15.2.	EL DISEÑO Y MÉTODO.....	57
16.	CRONOGRAMA.....	57
	CONCLUSIONES.....	58
	ANEXOS.....	60
	BIBLIOGRAFÍA.....	73



## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado hace un seguimiento tecnológico a las chimeneas solares y su proyección en el campo científico.

Es importante aclarar que dicha tecnología aún no ha sido utilizada en Colombia, dejando este proyecto como opción para una futura implementación. Los conceptos estudiados muestran las diferentes opiniones e ideas existentes de los creadores. Estas ideas muestran el compromiso universal que tienen los científicos de buscar nuevas alternativas de energía limpia para lograr mitigar el calentamiento global.

El desarrollo del proyecto se analiza desde dos estilos matemáticos con la finalidad de escoger cual es más útil, aplicables a la tecnología futurista y al prototipo expuesto en esta investigación, teniendo en cuenta las condiciones de la región caribe colombiana. Además, tiene la finalidad de buscar futuras investigaciones sobre este tipo de tecnología.

## **ABSTRACT**

The following thesis work shows de improvement of solar chimneys and its projection in the scientific field.

Is important to clarify that this technology has not been used in Colombia, which allow this project like an option for future implementation. The concepts shows all kind of opinions and ideas of its creators, and also shows the global commitmet that scientists has to create new energy alternatives for decreasing global warming.

This project has been analyzед by two different mathematic ways, so we can choose which one is more useful for the technology in the future and its benefits for the Caribbean Region of Colombia. As a complement, it has the purpose to make new research for this kind of technology.

## INTRODUCCIÓN

Las Energías Renovables están revolucionando el mundo de la generación de energía eléctrica; muchos países en desarrollo ya han comenzado a aprovechar los recursos renovables que nos brinda el planeta tierra.

La tierra, es un planeta lleno de recursos naturales, donde los no renovables han sido protagonistas en el mundo de la generación, pero infortunadamente algunos de esos recursos se están agotando y contaminan el medio ambiente, causándole al mundo un impacto negativo, como lo es el aceleramiento del calentamiento global.

Por lo tanto, los seres humanos están en la búsqueda de nuevas alternativas de generación de energía, la contaminación del petróleo, sus derivados y el carbón han obligado a buscar fuentes menos contaminantes al planeta, que ayuden a suplir la demanda de la generación y al desarrollo social, económico, ambiental mitigando el calentamiento global.

“La energía producida por el sol es inmensa. En las regiones ecuatoriales la radiación solar puede sobrepasar los 1.000 Watts/m<sup>2</sup>, siendo equivalente a la mitad de la potencia de una hervidora de agua eléctrica si es un día soleado”<sup>1</sup>; por tanto, se puede deducir que el sistema estudiado será alimentado por la fuente de energía más grande del universo.

Por tal motivo, el propósito de este proyecto es implementar los modelos matemáticos existentes, para un apoyo al estudio del modelo de un sistema de generación de energía eléctrica, utilizando tecnología tipo chimenea solar para la región caribe colombiana, analizando los modelos matemáticos existentes para el desarrollo de la investigación, porque como se sabe, Colombia un país en desarrollo, busca implementar y desarrollar en zonas no interconectadas energías renovables, siendo esta investigación un avance en la costa caribe de este tipo de energía.

Así pues, para el desarrollo de esta investigación se proponen retos al diseño de este tipo de tecnología, dándole prioridad a la implementación futura para atender la demanda de las zonas no interconectadas al Sistema de Interconexión Nacional (SIN), es importante atender a la necesidad del plan de desarrollo, ya que como se puede ver, el gobierno ha establecido leyes y decretos que apoyan estas actividades como los son; “programa de Uso Racional y Eficiente de Energía

---

<sup>1</sup>CASE STUDY OF SOLAR STOVES, Made and Used in the Peruvian Andes, For the Peru Children's Trust, Last updated on 20th February 2005.

PROURE se orientan fundamentalmente a la disminución de la intensidad energética, al mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, en función de la identificación de los potenciales y la definición de metas por ahorro energético, además de la participación de las fuentes como las tecnologías no convencionales en la canasta energética del país”<sup>2</sup>.

Finalmente, el contenido del trabajo de grado, nos muestra los factores fundamentales que se deben tener en cuenta en los modelos matemáticos para la aplicación de la investigación de un sistema de generación de energía eléctrica, utilizando tecnología tipo chimenea solar para la región caribe colombiana, se definirán los conceptos precisos de termodinámica, de radiación solar en la costa y convención entre otros conceptos que definiremos en la marco de la investigación.

---

<sup>2</sup> **OMAR FREDY PRIAS CAICEDO**, Consultor, Programa De Uso Racional Y Eficiente De Energía Fuentes No Convencionales – PROURE, Plan De Acción 2010-2015, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, pág. 1, Bogotá D.C., 19 de Abril de 2010.

# ***CAPITULO 1***

---

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMAS

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y GENERAL

ALCANCES O OBJETO DE ESTUDIO

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad, en Colombia existen sectores denominados Zonas No Interconectadas (ZNI), “que Corresponde al 66% del territorio nacional y abarca 16 departamentos. Actualmente se encuentran instalados 118 MW de capacidad de generación, de los cuales entre el 8% son generados con Fuentes No Convencionales, que son; PCH's, Sistemas fotovoltaicos y generación con biomasa, y 92% de Generación Diesel.”<sup>3</sup>, de esta manera se puede determinar que la gran mayoría de la generación para esas zonas es de generación diesel, sistemas que no contribuyen con el Medio Ambiente, como sabemos las energías convencionales originarias del petróleo y el carbón se encuentran entre las energías más contaminantes del mundo, además es una de las tantas actividades causantes del calentamiento global.

De ahí que, el transporte y la comercialización del servicio de energías convencionales a zonas denominadas No Interconectadas hacen de este servicio, el más costoso, y de difícil obtención, dejando estos lugares sin poder disfrutar de los privilegios que trae la energía eléctrica, usando métodos rudimentarios como velas y meches causantes de muchas enfermedades pulmonares, y para las zonas rurales, a mayor distancia de generación a las zonas rurales, el transporte de la energía hace que se incrementen los costos para los comercializadores y usuarios finales, lo cual nos damos cuenta que a los consumidores finales se le convierte en un calvario el pago de las facturas por sus altas cuotas en algunos casos por sus bajos ingresos.

Sin embargo, para las aplicaciones de las energías renovables y de tecnología tipo chimenea se deben mejorar muchos aspectos a nivel tecnológico, en la búsqueda de los resultados en otra investigación y prototipos de prueba, han dado un primer paso para seguir mejorando la eficiencia de la tecnología tipos chimenea y buscando nuevos métodos matemáticos con el fin de demostrar los factores de presión y otros conceptos. En la chimenea solar, la necesidad de estudiar los conceptos y formulas matemáticas es buscar el método adecuado para la investigación, que continuará en otra etapa del proyecto de la chimenea solar con condiciones específicas de región caribe colombiana.

Por consiguiente, en el proyecto expuesto en esta investigación determinan conceptos y valores propios de la región donde fueron implementados, de tal forma que los conceptos matemáticos para la investigación desarrollada en este proyecto puede ser tomada teniendo en cuenta, las condiciones climáticas propias

---

<sup>3</sup> **OMAR FREDY PRIAS CAICEDO**, Consultor, Programa De Uso Racional Y Eficiente De Energía Fuentes No Convencionales – PROURE, Plan De Acción 2010-2015, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, pág. 12, Bogotá D.C., 19 de Abril de 2010.

de la región, en vista a esto los modelos existentes llevan la investigación a un nivel muy complejo para emitir conceptos de avances en el prototipo planteado en este proyecto, los cálculos deben ser aplicados y comparados para ver cuál es el más adecuado dentro de la investigación de las chimenea solar. A pesar de todo, el gobierno colombiano todavía no les parece muy interesante este tipo de tecnología, es importante mencionar que la puesta en práctica de estos proyectos se necesita grandes extensiones de tierra y grande recurso económico donde se puedan desarrollar.

Entonces, ¿Que aplicaciones matemáticas se deben tener en cuenta para el desarrollo de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando tecnología tipo chimenea en la región Caribe colombiana?

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Las favorables condiciones climáticas ubican a Colombia en un lugar de privilegio para el aprovechamiento de la utilización de la energía solar y eólica en sus diferentes aplicaciones, entre ellas, la generación de energía eléctrica, actividad que reúne todos los requisitos para convertirse en uno de los ejes de desarrollo social y de gran aporte para brindar mejores condiciones a las comunidades rurales de nuestra región, en la generación de nuevos sistemas para la generación de energía eléctrica y constituir una conciencia ecológica para las futuras generaciones.

Por eso, con el desarrollo de esta investigación nos permitirá hacer un aporte de tipo tecnológico en mejora de la sociedad, permitiendo así a la reducción de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, con esta nueva alternativa de generación distribuida tipo chimenea solar, mostrar sus resultados a la población para dar a conocer una alternativa ante la crisis energética de los fósiles. Así mismo, con este tipo de generación de energía eléctrica se pretende presentar avances tecnológicos en energías renovables, además como resultado del trabajo se realizarán muestra de fórmulas necesarias para cálculo de este tipo de energías adaptadas a la región caribe colombiana, actualización y registros de información estadísticas referentes al comportamiento de diferentes variables.

De esta forma se podrá analizar y tener valores estadísticos existentes en investigaciones similares a la presentada en este proyecto, el cual es el método adecuado a utilizar matemáticamente para el desarrollo de la investigación propuesta, el desarrollo de este proyecto está enmarcado en el análisis por los diferentes conceptos y metodologías matemáticas manejadas, nos ayuda a ver que podemos aplicar para el desarrollo y avance de la investigación de la chimenea solar, es así que el proyecto se vuelve como uno de los más interesante, ya que se está estudiando una alternativa de generación de energía, donde por medio de conceptos tomados de proyectos similares con condiciones propios de cada región, se pueden tener en cuenta algunos argumentos que utilizan los datos propios de nuestra región para poder analizar y ver la viabilidad del proyecto y definir cuál método es más adecuado para ser implementado, teniendo en cuenta que el prototipo tiene otras condiciones diferentes con nuevos conceptos y fórmulas que desarrollar.

Se puede decir que, este es el principio de una nueva investigación debido a la innovación que se le plantea al tipo de chimenea solar, puesto que se deben obtener nuevos cálculos por las condiciones propias de la región y los elementos que se le agregan a la chimenea solar.

Teniendo en cuenta que hoy en día existe una carrera contra el tiempo para encontrar nuevas alternativas de generación de energía eléctrica y aprovechando la búsqueda de nuevas propuestas para la generación de energía, este trabajo permitirá ser utilizado como herramienta de estudio dentro de la Institución para el desarrollo de las temáticas mencionadas.

Por otro lado, existen diferentes investigaciones que han permitido demostrar que para el mejoramiento de la calidad de vida es necesario cambiar los hábitos y costumbres en estas zonas rurales, ya que no existe una concientización para el ahorro de energía.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Analizar los modelos matemáticos existentes para el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica, utilizando tecnología tipo chimenea solar que se puedan adaptar a las condiciones de la región Caribe colombiana.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Analizar y conocer la historia con las diferentes definiciones conceptuales de la chimenea solar.
- Analizar los principios de funcionamiento de la chimenea y como se genera la energía eléctrica.
- Identificar los diferentes estudios y proyectos chimeneas solares existentes en diferentes partes del mundo.
- Estudiar los diferentes modelos matemáticos para implementación en una futura continuación del proyecto de investigación.
- Analizar y determinar cuál es el método matemático adecuado para los cálculos a avance de la próxima investigación del proyecto de joven investigador de la Corporación Universitaria de la Costa.

#### **4. ALCANCE Y OBJETO DE ESTUDIO**

El objeto de estudio de este proyecto es la vigilancia tecnológica, pretendiendo disponer de los diferentes conceptos y modelos matemáticos existentes para sistemas de generación de energía utilizando tecnología tipo chimenea, con el fin de analizar y elegir un modelo adecuado a las condiciones de la región Caribe colombiana, para ser aplicado a un futuro diseño de chimenea solar propuesta como proyecto en la convocatoria de Joven investigador de Colciencias por los autores.

# ***CAPITULO 2***

---

MARCO HISTÓRICO, CHIMENEA SOLAR  
MARCO CONCEPTUAL, ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA  
CHIMENEA SOLAR

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VIENTOS EN LA ATMÓSFERA,  
PARA ESTUDIO DE LA CHIMENEA SOLAR

## 5. MARCO HISTORICO- CHIMENEA SOLAR

En el presente capítulo se hace referencia a la historia de la chimenea solar, teniendo en cuenta quien fue el primer autor en abordar el tema, y se plantea una breve descripción de la chimenea solar, los elementos naturales que intervienen en esta temática son: radiación, energía y temperatura, así también, exponiendo las características del medio ambiente en Colombia. Además se analizan los primeros prototipos de chimenea solar existentes a nivel mundial y sus principales características.

### 5.1. HISTORIA.

“Dentro de los registros históricos de las chimeneas se encuentra uno de los principales Artículos publicados por la Revista General de electricidad, *“la Energía Eléctrica”*, por Isidoro Cabanyes, que se titulaba *“Proyecto de motor solar”*.

“Isidoro Cabanyes fue un militar empeñado en la modernización de España, lo que puso de manifiesto con actividades tan diversas como un intento de fabricar submarinos, la participación en la primera gran empresa eléctrica española que fue la “Sociedad Española de Electricidad” y la propuesta de su “motor solar”, constituido por una chimenea en cuyo hogar situaba un calentador de aire mediante energía solar y en cuyo tiro disponía la máquina eólica para producir electricidad”<sup>4</sup>.

El mismo autor daba un concepto de otras máquinas solares, haciendo referencia a lo poco útil que son y resaltando la propia, diciendo: (*“Concibamos una gran caja de cristal herméticamente cerrada; bajo la caja transparente, otra de hierro pintada de negro, y dentro de esta última caja, aire o agua, medios que, una vez elevados á alta temperatura pasen a cualquiera de las máquinas ya conocidas de aire caliente o de vapor de agua y en ella funcionen; y todo ello, caja transparente y caja de hierro, sobre un piso de cristal machacado; agréguese á tal mecanismo pantallas o reflectores, que recojan el sol oblicuo y lo dirijan á la caja de cristal y tendráse idea de lo que son «todas» las máquinas solares inventadas hasta el día, sin que ninguna haya podido alcanzar la menor importancia industrial, ni más potencia que la de algunos kilográmetros ...”*). En su artículo el autor da a conocer dos ideas con respecto a su forma de pensar.

---

<sup>4</sup> **Eduardo Lorenzo**, De Los Archivos Históricos De La Energía Solar (V), Pioneros españoles de las energías renovables, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, PDF, Pág. 6.

La Primera idea, estaba enmarcada en calentar el aire con colector solar, de esta manera obligaría que el aire subiera por la chimenea, (*“... si a la expresada superficie cónica que constituye el pedestal de la figura, se le han hecho numerosos y pequeños taladros en toda su extensión, y después de pintada de negro, se la ha expuesto a la acción inmediata del sol particularmente en los meses y horas de más calor, al caldearse la masa metálica, el aire exterior próximo a dicha superficie, pasará a través de los taladros de que se halla tapizada, a impulso del tiraje espontáneo del conjunto, y quedará así constituida una corriente de aire dentro del tubo, tanto más intensa, cuanto más alta sea la chimenea y mayor la temperatura del sol en el momento considerado, todo naturalmente dentro de determinadas dimensiones y disposición de la superficie de caldeo y sección y cota de la chimenea”*).

La segunda idea, precisaba en que con el aire subiendo por la chimenea moviera un generador, (*“... si en cualquiera región del interior del tubo, montamos horizontalmente una rueda de las conocidas con el nombre de «molino de viento», esa rueda se pondrá en marcha en las horas de calor intenso por virtud de dicha corriente ascendente de aire, de un modo semejante a como lo hiciera si la rueda se hubiese establecido al aire libre, de la manera común y ordinaria, como se hace en la instalación de esta clase de aparatos”*).

De manera que, gracias a esta idea de Isidoro Cabanyes, en 1981 después de 80 años “el Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología (BMFT), con la ayuda de la empresa eléctrica española Unión Fenosa, promovió y financió la construcción de una máquina basada en el mismo principio en la localidad manchega de Manzanares. Esta tenía 195 m de altura, 10 m de diámetro y un peso de 200 toneladas, el colector solar era un enorme invernadero de plástico, de forma aproximadamente redonda, de 240 m de diámetro, constituido a base de cuadrados de unos 6 m de lado. En los nodos de la red resultante existían unas columnas que sostenían el plástico, a unos 2 m de elevación sobre el suelo. Una persona podía caminar tranquilamente por encima del plástico, lo que da buena idea de la robustez del invernadero. En la base de la chimenea se instaló un generador eólico de 50 kW de potencia”<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> **Eduardo Lorenzo**, De Los Archivos Históricos De La Energía Solar, Las chimeneas solares, de una propuesta española en 1903 a la Central de Manzanares, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, PDF, Pág. 3.

## **6. MARCO CONCEPTUAL, ELEMENTOS NATURALES QUE INTERVIENEN EN LA CHIMENEA SOLAR.**

### **6.1. LA ENERGÍA SOLAR**

La energía proveniente del Sol, en medio de otras formas de energía (gravitacional, por ejemplo) disponibles en el sistema global, es el impulso inicial que, directamente o transformada, esto genera la dinámica del ecosistema planetario. La energía solar es el motor de la dinámica de la atmósfera, del océano, del clima y de la biosfera, y es un factor esencial dentro de los ciclos biogeoquímicos en general.

Por ejemplo, La energía solar al llegar a la superficie terrestre es absorbida y convertida en calor (energía interna). Luego, por la heterogeneidad de las propiedades de absorción de la superficie, su calentamiento es diferenciado, lo que conlleva al movimiento en la atmósfera y en el océano. De otra parte, al calentar la superficie del océano (o de un lago o un río) se genera el proceso de evaporación que estimula el intercambio de agua (masa) y calor (energía) entre la atmósfera y la hidrosfera, participando de manera importante en el ciclo hidrológico.

### **6.2. LA RADIACIÓN SOLAR**

El motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima es la energía solar. El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento (por la difusión, reflexión en las nubes) y de absorción (por las moléculas de gases y por partículas en suspensión), la radiación solar alcanza la superficie terrestre (océano o continente) que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera.

### **6.3. EL EFECTO INVERNADERO**

Algunos de los gases variables, como el vapor de agua y el CO<sub>2</sub>, son relativamente transparentes a la radiación solar en el rango visible, pero absorben la radiación de onda larga saliente de la superficie de la Tierra. Estos gases irradian parte de la energía absorbida al espacio y retorna en dirección a la superficie de la Tierra. O sea, este intercambio de energía entre la atmósfera y la

superficie de la Tierra es conocido como efecto invernadero natural. La temperatura media global de la atmósfera es aproximadamente de 15 °C gracias al efecto invernadero.

## **7. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VIENTOS EN LA ATMÓSFERA, PARA EL ESTUDIO DE LA CHIMENEA SOLAR**

El viento es uno de los elementos fundamentales de la tierra, se identifica como el aire y se reconoce como la fuente que da el movimiento, es un importante medio para la producción de energía eólica, dentro de esta investigación conoceremos sus propiedades y relaciones física.

### **7.1. LOS ORÍGENES DEL VIENTO**

El peso del aire encima de un objeto ejerce una fuerza por unidad de área sobre ese objeto y esta fuerza es conocida como la presión. Las variaciones en la presión llevan al desarrollo de los vientos, los cuales a su vez influyen en el estado del tiempo diario.

## **7.2. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. (COLOMBIA)**

“La presión atmosférica se define como la fuerza por unidad de área ejercida contra una superficie por el peso del aire encima de esa superficie.

En términos de las moléculas de aire, si el número de ellas por encima de una superficie aumenta, habrá más moléculas que ejerzan una fuerza sobre esa superficie y, consecuentemente, la presión aumentará. Por el contrario, cuando el número de moléculas por encima de la superficie se reduzca entonces se tendrá como resultado una disminución en la presión.

Los meteorólogos utilizan frecuentemente como unidad de medida de la presión los milibares y la presión media a nivel del mar es de 1.013,25 milibares. Sin embargo, en los informes meteorológicos para la aviación, la presión se suele dar en pulgadas de mercurio (Hg). En el caso del nivel del mar, un área unitaria en medidas inglesas de una pulgada cuadrada soporta, en promedio, 14,7 libras”<sup>6</sup>.

## **7.3. LA PRESIÓN CON LA ALTURA.**

“En general, el número de moléculas de aire encima de una superficie cambia con la altura de la superficie, hay menos moléculas de aire por encima de la superficie a 50 kilómetros que las encontradas por encima de la superficie a 12 km. Puesto que el número de moléculas de aire por encima de una superficie disminuye con la altura, del mismo modo la presión disminuye con la altura”<sup>7</sup>

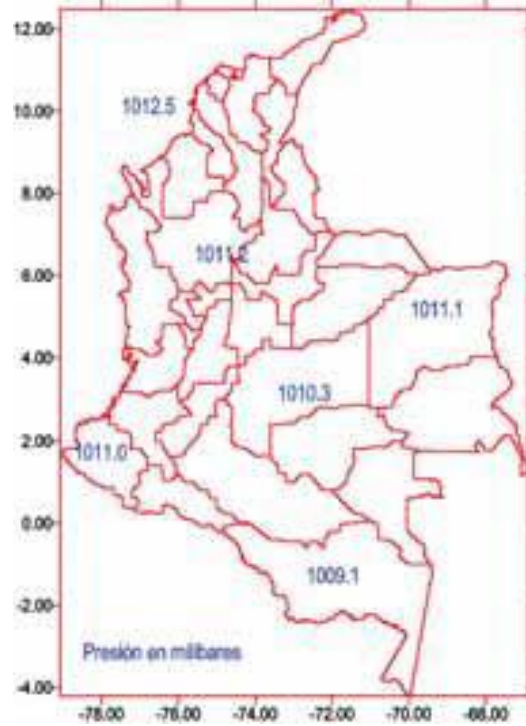
---

<sup>6</sup> Unidad De Planeación Minero Energética (UPME), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Atlas de Viento en Colombia y Energía Eólica de Colombia, Anexo1, pág. 105.

<sup>7</sup> Unidad De Planeación Minero Energética (UPME), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Atlas de Viento en Colombia y Energía Eólica de Colombia, Anexo1, pág. 106.



**Figura 1: Datos de presión reducidos a nivel del mar comunicado  
Por medio de boletines meteorológicos.**



FUENTE: IDEAM

Las condiciones atmosféricas en Colombia son variables de esta forma solo se tendrá en cuenta los factores más importantes que interviene en la chimenea como los son: la energía solar, la radiación solar, el efecto invernadero, presión atmosférica y la presión con la altura.

# ***CAPITULO 3***

---

IDEAS EN EL MUNDO CON LA TECNOLOGÍA TIPO CHIMENEA  
INVENTARIO DE LOS DIFERENTES PROTOTIPOS Y PROYECTOS DE  
CHIMENEAS SOLAR DE AIRE ASCENDENTE

## **8. IDEAS EN EL MUNDO CON LA TECNOLOGÍA TIPO CHIMENEA**

Hay diferentes maneras de construir torres solares o chimeneas, uno de ellas son: las aisladas en tubos de hormigón armado, con láminas de chapa de metal corrugado, o cables de red, las cuales están compuestas con una sola turbina eje vertical puestas en la base de la torre, esto podría ser visto como la solución sencilla, los diseños actuales y estimados de costos son sobre la base de las turbinas de eje horizontal y puestos con céntricamente en la borde de la torre, a fin de lograr la fluidez de aire, y también para ser capaz de utilizar turbinas de tamaños existentes, con respecto al diámetro del rotor.

A continuación, se describen algunos prototipos e ideas expuestos en diferentes partes del mundo de la chimenea solar, con la finalidad de conocer su funcionamiento y poder avanzar en la investigación del prototipo expuesto y presentado a joven investigador.

### **8.1. CHIMENEA SOLAR FLOTANTE.(Inventor: Christos papagiorgiou, ib Nymion Str. GR-14563 kilissia, Athens (GR).**

Las Chimeneas solares se puede hacer con estructuras de hormigón armado (hormigón chimeneas solares, CFC), o más ligeras con estructuras infladas con el aire (FSC flotante chimeneas solares).

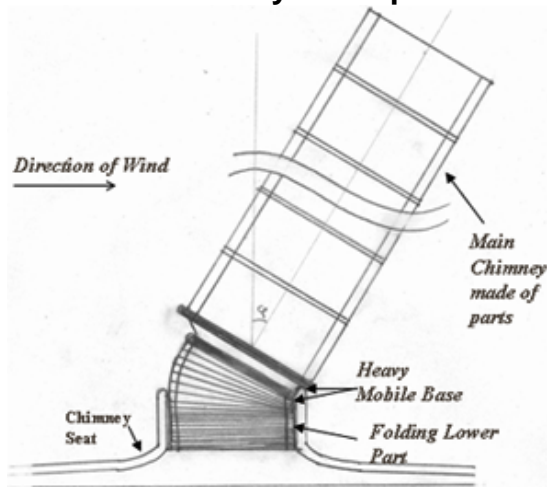
La chimenea solar flotante consta de tres partes: la chimenea principal, la base fuerte y el plegado inferior. La parte principal se compone de anillos cilíndricos llenos de gas ligero, no inflamable. Estos anillos cilíndricos están vinculados a través de los anillos de soporte, para formar un cilindro compacto con aislamiento. Las partes de la chimenea principal se establecen sobre la base pesada y móvil. Las partes compactas se separan con anillos llenos del aire que puede entrar y salir, de modo que la independencia de estas partes sucesivas dinámica está asegurada. La chimenea principal y flotante se une a la otra por medio de la base pesada y móvil. En la parte inferior de su base pesada se fija la parte inferior de la chimenea solar plegable. Así que el aire puede entrar y salir de los anillos de la tapa inferior de esta chimenea solar flotante se puede doblar en una forma adecuada para soportar el viento del exterior.

Una planta de energía solar chimenea tiene tres componentes principales:

- (1) Un colector circular solar (efecto invernadero)
- (2) Un cilindro de altura en el centro del colector solar (chimenea solar)

(3) Un conjunto de turbinas de aire dirigido a los generadores eléctricos alrededor de la parte inferior de la chimenea solar, el aire se calienta en el interior del invernadero la radiación solar y, debido a su flotabilidad, tiende a escapar a través de la chimenea solar”.

**Figura 2: Illustration of the supple flexible Floating Solar Chimney concept from**

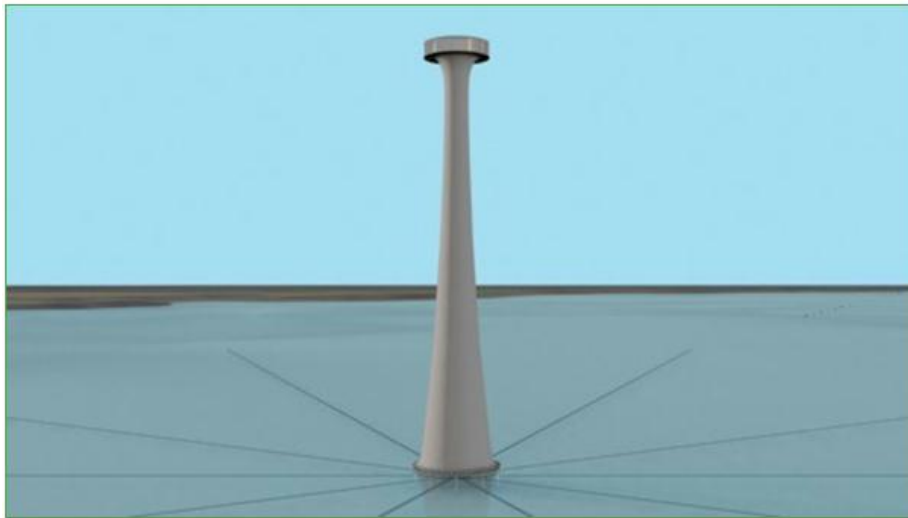


<http://www.floatingsolarchimney.gr/>

## 8.2. TORRE SOLAR ESTANQUE

El problema de una torre solar es que la eficiencia es baja, aunque área de colectores es de gran tamaño que se necesita para producir energía, por ejemplo 1000 m de altura, 200 MW torre Requiere una expansión 20 km<sup>2</sup> en zona verde, que hace que la parte inicial del proyecto sea costoso.

**Figura 3: La Torre Solar Estanque, lentamente gira y el tubo intercambiador de calor en la capa inferior se calientan la laguna.**



<http://www.greenidealive.org/110599/466/solar-pond-tower-for-5-ct-kwh.html>

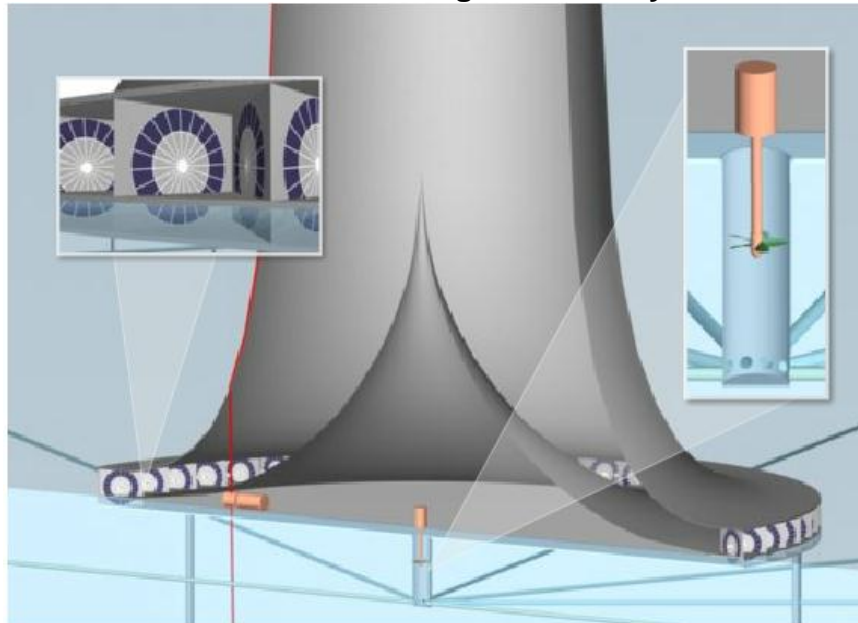
### 8.2.1. Descripción Global

El Estanque de la torre solar está formado por un determinado tipo de torre de enfriamiento Situada en un lago. El aire de entrada es calentado por las ruedas de calor hidrológicas, se calienta el agua de la capa inferior del lago. La entrada de aire por la superficie del lago de y será por vapor saturado a una temperatura de 30 ° C, que contiene 25 gramos de agua por kg de aire.

En lugar de un superficie de colectores de gran tamaño, la Torre Solar de estanque, Utiliza una superficie de agua como colector natural de un lago que se calienta por el sol. El lago también almacena el calor para su funcionamiento durante la noche o en temperaturas bajas. Así pues para una buena eficiencia, la temperatura del agua debe ser lo más caliente posible, pero inferior a 100 C para evitar una ebullición en el fondo del lago. Para llegar a esta temperatura el agua debe ser aislado, es natural y posible que el lago tenga un alto contenido de sal, en un estanque de agua degradado, con un alto contenido en agua salada con alta temperatura, una alta salinidad puede contener más saturación y es pesado

para la estructura, el agua saturada a una temperatura menor forma una capa de degradado y queda aislada. Así que por debajo de una gruesa capa de degradado de una capa aislante inferior en caliente, animada por el sol la cual puede almacenar calor durante varios días. La temperatura media de la capa del fondo de la laguna será de 60 C y de la capa superior de frío 30C. Si la capa de degradado intermedia es de 0,5 m de espesor, luego  $30 \times 0.6 / 0.5 = 36 \text{ W / m}^2$  de calor se pierde, que es una pérdida de sólo el 20% del calor solar.

**Figura 4: Sección transversal de fondo la torre de la turbina con el agua dulce y los detalles de la bomba de agua caliente y las ruedas de calor**



<http://www.greenidealive.org/110599/466/solar-pond-tower-for-5-ct-kwh.html>

### **8.3. CHIMENEA DE CALOR LATENTE DE CONGELACIÓN (DE FUSIÓN - SOLIDIFICACIÓN).**

El principio de funcionamiento del "polo de fuego" inventado y perfeccionado por Denis Bonnelle consiste en recuperar el calor latente de congelación del agua.

Este consiste en un aumento del aire caliente en la chimenea, pero a diferencia del prototipo de chimenea solar de Manzanares, o torre solar de la misma naturaleza que está prevista en Australia, España y Namibia, esta no necesita de efecto invernadero y de los colectores de calor.

Como tal, es más parecido a la torre de energía desarrollado por los israelíes, aunque este último trabaja en la dirección opuesta (la corriente de aire es descendente y el aire es más frío que el del medio ambiente).

**Principio:** utiliza el mismo principio que los cañones de nieve artificial en pistas de esquí. Ellos son la pulverización de agua en el aire frío (cerca del polo): el agua se congela y al calentarse el aire se recupera el calor latente de congelación del agua.

A propósito, este aire "calentado" es recuperado y dirigido a una chimenea para mover las turbinas, así generar electricidad. Al igual que con las chimeneas solares, la energía se basa en la diferencia de temperatura, entra el aire y mueve la turbina para salir por la parte superior de la Chimenea. Estas chimeneas se encuentran cerca de los polos, dependiendo de la altura de la torre, la diferencia en la temperatura del aire podría ser igual o mayor que el de una chimenea solar en los desiertos calientes o los namibios australianos.

Técnicamente, hay algunos problemas para resolver:

- Necesidad tanto de agua líquida y de aire muy frío.
- Eliminación del hielo que se ha formado
- La distancia entre la zona polar de la producción eléctrica y el consumo urbano de la misma (aproximadamente 3000 km), por lo que el problema de la transmisión de electricidad y las pérdidas que causa<sup>8</sup>

#### **8.4. LA TORRE SOLAR DE MONTAÑA**

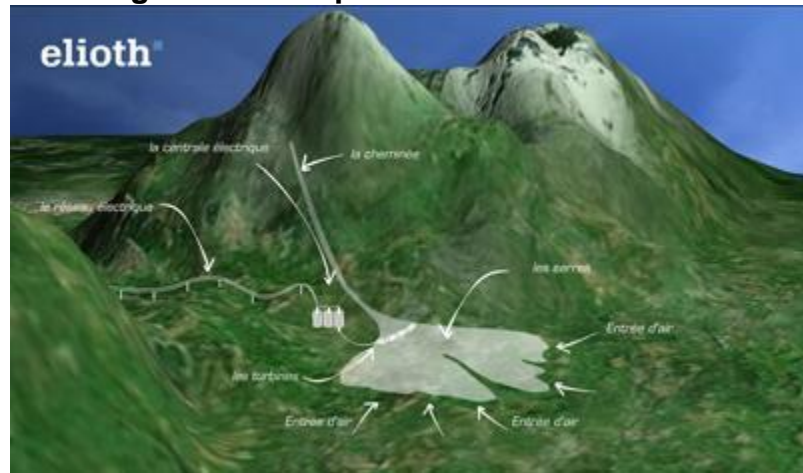
La montaña solar es un nuevo sistema de producción de electricidad a partir del concepto de chimenea solar, desarrollado por el departamento de investigación Eliothe.

Por tanto, una chimenea que descansa sobre el relieve montañoso reduce las fuerzas de la chimenea, alrededor de un kilómetro de alto. Por lo que es menos costosa si la chimenea se basa en el acantilado o excavados. Así que la Insolación se produce, luego se almacena en un colector y el aire caliente se dirige hacia las turbinas bajo el efecto de la tracción térmica de una chimenea. El concepto de montaña solar fue objeto de patentes internacionales en 2005.

---

<sup>8</sup> **VENT ARTIFICIEL "TALL IS BEAUTIFUL"**, Examen des perspectives de gains de rentabilité d'une énergie renouvelable déjà presque rentable, rédaction: cosmogone, años 2008 -2009, página Web: <http://www.tour-solaire.fr/polaire-bonnelle.php>

**Figura 5: Principio de la montañas solar**



<http://www.tour-solaire.fr/a-flanc-de-montagne-menard.php>

Ilustración del concepto de la chimenea de Montaña: la chimenea solar es apoyado por el lado de la montaña, recordemos el principio de funcionamiento de la torre de aire ascendente.

Así pues, que las chimeneas solares explotan dos fenómenos naturales: el efecto invernadero y la convección. Crean finalmente un viento calentado por la energía solar.

- Es como un coleccionista, asociado a un invernadero situado cerca del suelo que se recoge la radiación solar, directa y difusa, y encarcela a este flujo de energía radiante por una envoltura transparente, el volumen de aire por lo tanto se calienta.
- la chimenea que crea un gradiente de presión (la flotabilidad del aire) entre el aire caliente situado en el fondo y por lo tanto menos denso el aire situado en la salida de la chimenea. Colector de aire resultante es por lo tanto sometido a empuje de Arquímedes y tiende a crear un viento artificial en la base de la chimenea. En esta zona, una turbinas transforma la energía cinética del aire en electricidad.
- La potencia de la instalación es proporcional a la altura de la chimenea, la superficie del colector y el potencial solar del sitio.

#### **8.4.1. La evolución hacia la montaña solar**

La montaña solar es una evolución del concepto de la chimenea solar.



Las desventajas inherentes a las torres solares se encuentran principalmente en:

- La dificultad técnica y constructiva de una torre de dimensiones muy grandes (en particular en las zonas de la esfera sometida a los sismos y / o vientos fuertes)
- Impacto en el paisaje natural.
- El costo de capital de una explotación estructural.

La idea original de los resultados del proyecto a partir de un lugar común: la superficie de la esfera proporciona apoyos naturales gracias a la ayuda y sobre todo gracias a las montañas. En consecuencia, a subir a 200, 1000 o 3000 metros no representa más una proeza técnica importante en la medida en el conducto de la chimenea se casa con la ayuda y participa regularmente de apoyo en el suelo.<sup>9</sup>

#### **8.5. BI-DIRECCIONAL CHIMENEAS SOLARES POR ROBERT J. ROHATENSKY, EL CALOR SOLAR SISTEMA DE BOMBA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA (SHPEGS).**

**El diseño:** El objetivo principal del diseño es la construcción de una posible carga de la estación base de energía renovable para climas moderados, como Canadá y el norte de los EE.UU., Asia y Europa, donde hay alta irradiación solar durante el verano, pero las temperaturas muy frías y poca luz del día en invierno.

Por consiguiente, una torre de convección (bi-direccional de la chimenea) permite a las grandes cantidades de aire se muevan a través de los intercambiadores de calor, aprovechando la flotabilidad para mejorar la eficiencia del intercambiador de aire en un sistema de aire forzado. Un sistema de almacenamiento de calor de gran tamaño (agua, arena, piedras o tierra, ya sean naturales o artificiales) se utiliza para almacenar el calor del aire y el calor recogido de la fuente solar / geotérmica hasta que el aire es más fresco (ya sea de día / ciclo de la noche o de temporada). Este calor acumulado es relativamente cerca del sistema (en comparación con profunda geotérmica) y la energía para la bomba de calor es relativamente baja.

---

<sup>9</sup> [http://www.speedylook.com/solar\\_mountain.html](http://www.speedylook.com/solar_mountain.html)

**Solar Heat Pump Electrical Generation System  
Ammonia Absorption  
(Day Time Cycle)**

The diagram illustrates the following components and processes:

- Thermal Solar Collectors:** Receive solar radiation to heat the ammonia-water mixture.
- Ammonia Condenser:** Where ammonia condenses at high pressure and temperature, generating steam.
- Preheater:** Preheats the ammonia-water mixture before it enters the condenser.
- Generator:** Driven by the steam from the condenser to produce electricity.
- High Pressure Hot Water:** Circulates between the condenser and the preheater.
- High Pressure Cold Water:** Circulates between the preheater and the condenser.
- Ammonia:** Is injected/absorbed in water and pumped back to the collectors.
- Anhydrous Ammonia Storage:** Stores the ammonia after it has been separated from the water.
- Expansion Engine:** Uses ammonia pressure to force and compress air.
- Water Output:** The final product of the system.
- Heat Storage:** Stores excess heat from the solar collectors for later use.
- Wind Turbine:** Provides additional power to the system.

Design by Robert J. Rohatensky April 2007

¿Cómo funciona? Una torre está construido para permitir grandes cantidades de aire se muevan a través de intercambiadores de calor por convección natural debido a la flotabilidad.

Así que, el calor geotérmica solar térmica o profunda se utiliza para accionar una bomba de calor que se mueve una cantidad mucho mayor de calor del aire. Tanto el calor del aire y el calor de encender la bomba de calor se almacenan en el almacenamiento de calor superficial.

Por lo tanto, el almacenamiento térmico es utilizado para explotar la diferencia en los cambios de temperatura debido al calentamiento diurno entre las aéreas y subterráneas poco profundas, ya sea de día / noche o en cada estación. En efecto, esto crea una fuente geotérmica local y la baja energía de los medios de comunicación permite la transferencia de un sistema eficiente de generación de energía geotérmica. Esta fuente es confiable y puede ser utilizado para la generación de carga base eléctrica y calefacción estructural.

Un líquido de bajo punto de ebullición (amoníaco) se expande en el intercambiador de calor en la torre y en el que se reduce (se reduce a amoníaco

34

anhidro-33C) y se expande. El amoníaco es absorbido en agua fría. Esta solución acuosa de amoníaco es calentada por colectores solares térmicos o de calor geotérmico profunda y el amoníaco hierve bajo presión. El vapor de amoníaco se condensa y el amoníaco anhidro a presión se devuelve al almacén. Una parte del calor se convierte en electricidad y el calor almacenado es posterior. El aire frío entra en el viento de la torre y la creación de esta energía también se refleja en las turbinas de viento<sup>11</sup>.

## **8.6. CHIMENEA SÚPER ALTA PARA FACILITAR EL INTERCAMBIO DE CALOR EN LA ATMOSFERA.**

La invención propone el empleo de una chimenea de súper alta para facilitar el intercambio de calor en la atmósfera como un remedio al calentamiento global. Los cálculos indican que si la construcción de una chimenea de 5 kilómetros (3 millas) de altura y 1 kilómetro (0.7 millas) de diámetro, podemos esperar que los sorprendentes resultados siguientes:

- ✓ Sólo 10 chimeneas como la propuesta compensaran el calentamiento global.
- ✓ Cada chimenea se produce ~ 330.000 megavatios de electricidad, lo que equivale a la cantidad de energía 15 súper poderosos producen las centrales nucleares
- ✓ Cada chimenea se induce la generación de lluvia en las zonas aledañas y se producen alrededor de ~ 930 millones de toneladas de precipitación de agua todos los días, lo que equivale al 4% del caudal del río Mississippi en Nueva Orleans, o alrededor de 80 ríos Jordán. • Cada chimenea va a transformar por lo menos 300 millas cuadradas de desierto en tierras de cultivo
- ✓ Cada chimenea atraparé aproximadamente 1.500.000 toneladas de CO2 al año en el área de cultivo de nueva creación<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> **ROBERT J. ROHATENSKY**, Implementation Of The Absorption Cooled Energy Tower, Desert Climate, Low Humidity, 6 months of sub-zero C temperatures, Tuscon Arizona, USA, January 23, 2007, Document Version 1.0 pdf.

<sup>12</sup> Michael Pesochinsky; <http://www.superchimney.org/default.html> el Twistower

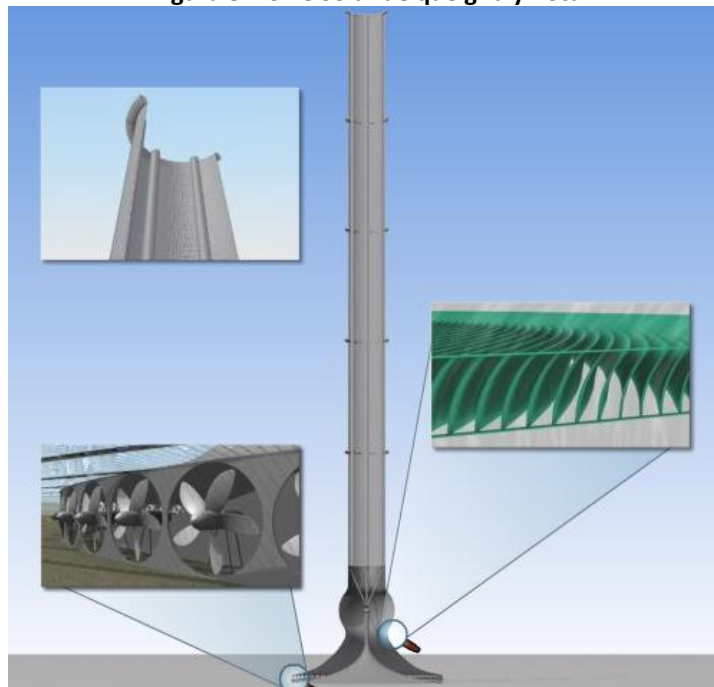
Figura 7: tabla de rendimiento de productividad dependiendo de la altura de la chimenea.

Height m	2000	3000	4000	5000
Diameter m	500	500	700	1000
Air Temperature at the base °C	30	30	30	30
Air Temperature at the upper end °C	10	0	-10	-20
Air Speed m/s	52.7	80.4	109.2	139
Air Flow kg/s	12,034,838	18,379,911	48,938,418	127,292,000
Producing electric power Mega Watt	4447	15790	77542	327,786
amount of water condensate/precipitation kg per second	0	73,520	327,887	929,231
CO2 uptake by irrigated desert tons	0	147835	946,146	1,478,354
number of super-chimneys needed to cool the atmosphere	224	99	27	10

Autor: Michael Pesochinsky; <http://www.superchimney.org/default.html> el Twistower

## 8.7. TWISTOWER TORRE SOLAR DE AIRE ASCENDENTE.

Figura 8: Torre Solar de que gira y flota



<http://www.greenidealive.org/110599/476/twistower.html>

El Twistower es un torre que gira y flota ligeramente se puede aprovechar como una torre de aire ascendente. En principio, la torre twister estables vinculados por una rotación del cilindro hueco de paredes muy delgada.

Un ejemplo de un vórtice, estable la estela generada por una punta de la ala de un avión o un colgajo. Este vórtice sostiene a más de 10.000-50.000 veces el diámetro del vórtice, Normalmente, un vórtice sostiene 10 a 50 veces el diámetro.

Dado que el agua se condensa en el centro la chimenea, las gotas se mueven al centro del diámetro del núcleo exterior, dejando atrás el calor latente en el núcleo. Este calor Genera una inversión de temperatura en el diámetro del núcleo, que debido a la fuerza centrífuga, pre-mezcla baja densidad con el ambiente de alta densidad. Este límite de inversión hace que el centro de la chimenea sea muy estable.

Por otro lado, Un cilindro de paredes delgadas es más fuerte que la inversión de temperatura, generará en el centro de la chimenea más estabilidad. Si el aire en el cilindro se calienta el vórtice será aún más estable. Si una torre giratoria de pared delgada como el Twistower se aplica para una Torre Solar que genere un flujo de vórtice estable, existirán menos pérdidas<sup>13</sup>

#### **8.7.1. Aplicación de tecnología de torre**

Una torre solar calienta el aire por el efecto de la chimenea. La energía cinética del aire se transfiere en energía eléctrica mediante turbinas en la base de la torre. Además, si la densidad del aire es menor la fuerza de elevación será mayor, el flujo de aire frío baja la fuerza de arrastre del en la torre, por lo tanto si utilizamos helio o el hidrogeno y se levantara la chimenea su rendimiento en ella sería mayor.

Otra idea para aplicar una torre de pared delgada es la torre verde en Nymion. El problema de la no-rotación de la torre de pared delgadas es la presión baja, ¿Qué va a ocurrir en el cilindro. El problema es de un vórtice no unido y esto no le da Estabilidad en el núcleo. Ambos problemas no están presentes en el Twistower, donde la presión interna en la pared está en equilibrio con la presión sobre la pared exterior, el diámetro del núcleo es automáticamente el diámetro de la pared. Debido a la baja carga se puede aplicar en cualquiera región, está hecha de un material fuerte y ligero de fibra de carbono”<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> <http://www.innovy.com/112005/twistower.html>

<sup>14</sup> <http://www.greenidealive.org/110599/476/twistower.html>

## **9. RELACIÓN DE LOS DIFERENTES PROTOTIPOS Y PROYECTOS DE CHIMENEAS SOLAR DE AIRE ASCENDENTE**

### **9.1. EL PROTOTIPO MANZANARES.**

El prototipo de manzanares fue construida 1981, en la ciudad de Manzanares (ciudad española ubicada a 150 kilómetros de Madrid) el proyecto fue dirigido por el ingeniero alemán Jörg Schlaich, con financiación del Ministerio alemán de investigación y Tecnología. Esta chimenea tenía una altura de 194 metros y una potencia de 50kW y funcionó hasta 1989. Que se detuvo debido a un costo por kilovatio-hora, cinco veces mayor que las plantas térmicas convencionales.

### **9.2. EL PROYECTO AUSTRALIANO**

Es un proyecto de una torre solar, llamado proyecto Buronga, planeado desde 2002 a 2006, fue desarrollado en Australia por la empresa de Enviro mission. La chimenea será 990 metros, 140 metros de diámetro. El tamaño de colector será de 7 kilómetros de diámetro, km<sup>2</sup> de vidrio y plástico 38,5. Habrá 32 turbinas de la planta y proveerá 200 megavatios de electricidad, suficiente para suministrar electricidad a 200.000 hogares australianos. El costo de la inversión sería de alrededor de € 700 millones

### **9.3. EL PROYECTO ESPAÑOL**

“Otro proyecto de la torre solar, prevista inicialmente para 2010, si los fondos se encuentran, se desarrolló en España en la localidad de Fuente el Fresno, un pueblo de la provincia de Ciudad Real. El trabajo debe ser realizado en colaboración con empresas españolas y Imasa Ingeniería Campo 3, y la empresa alemana Schlaich Bergermann y PAS Partners Esta torre de 750 metros por lo tanto, sería el más alto de Europa. El colector de 3 km de diámetro, cubre 350 hectáreas, 250 hectáreas podrían ser utilizadas para el cultivo de hortalizas en invernaderos. La potencia de la planta será de 40 megavatios, la demanda de electricidad de alrededor de 120.000 viviendas en España (que consumen menos que la de los australianos). El costo del proyecto se estima en 240 millones de euros”<sup>15</sup>.

### **9.4. EL PROYECTO DE NAMIBIA**

“La torre solar, llamada Torre Verde será de 1, 5 km de altura y 280 metros de diámetro y se operan mediante la generación de una corriente de aire

---

<sup>15</sup> <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia43/HTML/Articulo03.htm>

ascendente, la producción de 400 MW de electricidad. La zona del invernadero se km2 38,5 (7 km de diámetro) El Director General de Hahn & Hahn, Alan Dunlop ha anunciado que el proyecto había sido aprobado por el gobierno de Namibia. El costo total estimado de \$ 1 mil millones”<sup>16</sup>.

## **9.5. EL PROTOTIPO CHINO**

“Un prototipo de chimenea solar se encargó 10 de diciembre 2010 en Jinshawan, Wuhai de la ciudad en el norte de China en la región autónoma de Mongolia Interior, tiene una potencia de 200 kilovatios, la zona del invernadero es de 4 hectáreas y pueden proporcionar 400.000 kWh de electricidad al año, el ahorro de las emisiones equivalentes de 100 toneladas de carbón y 900 toneladas de ahorro de agua en comparación con la producción de la misma cantidad de energía a través de una central térmica con los combustibles fósiles.

**El proyecto chino** Una chimenea solar de 27,5 MW será construida en China (Jinshawan, Wuhai, Mongolia), financiado por una compañía local en Mongolia Interior, con 1,38 millones de yuanes (208 millones de dólares, 160 millones de dólares), se inició la construcción mayo de 2009. Habrá tres fases para cubrir un área total de 277 hectáreas y una potencia máxima que llegará a 27,5 MW después de la fase final que se completará en 2013”<sup>17</sup>

## **9.6. EL PROTOTIPO CHILENO**

La Chimenea Solar para que pretenda construir chile pretende ir pegadas a la cordillera o un cerro, como si se tratara de una gran tubería, y no como una gran estructura estática de hormigón de 1.000 metros de altura, lo que implicaría triplicar los costos. Debido a que Este tipo de prototipos podría aportar 200 megawatts.

---

<sup>16</sup> [www.greentower.net](http://www.greentower.net)

<sup>17</sup> [http://www.gov.cn/english/2010-12/28/content\\_1773883.htm](http://www.gov.cn/english/2010-12/28/content_1773883.htm)

# ***CAPÍTULO 4***

---

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA CHIMENEA SOLAR.

PRINCIPIO MATEMÁTICO

PARTES FUNDAMENTALES DE LA CHIMENEA



## **10. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA CHIMENEA SOLAR.**

El diseño estructural de las plantas a gran escala demostró que un prototipo del colector, del diseño de Manzanares se puede utilizar para grandes plantas sin mayores modificaciones. Este diseño representa un resultado, robusto y una solución a un precio razonable.

Es por esto, que en Manzanares la experiencia también proporcionó datos de cálculo de costos para el expertos, la Torre de 1.000 m de altura son un reto, pero se pueden construir hoy en día. La Torre CN en Toronto, Canadá, tiene casi 600 metros de altura y los planes se están haciendo serios de 2.000 metro. Además, lo que se necesita para una torre solar es una cilindro de simple, de gran diámetro hueco, no muy delgado, y con sujeción a las exigencias de muy pocos en comparación con habitada edificios.

En este capítulo se hace una descripción de la chimenea solar, principio de funcionamiento y el principio matemático, las formulas y avances matemáticos y cuál de los conceptos matemáticos es el más adecuado para el desarrollo de la Investigacion.

### **10.1. DESCRIPCIÓN, CHIMENEA SOLAR**

La chimenea solar o maquina solar, es una estructura en forma cónica como los muestra la figura 2, es considerada una alternativa de generación de energía distribuida y en Colombia esta clase de proyectos son considerados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), “La Chimenea Solar convierte la radiación solar (directa y difusa) en electricidad a través de tres principios muy conocidos: el efecto invernadero, la chimenea y la turbina de viento, de manera novedosa”<sup>18</sup>.

Por tal motivo que la chimenea solar pretende mejorar y adaptar a las condiciones climáticas de la región caribe colombiana, implementando los métodos fundamentales de producción de energía eléctrica mediante la energía solar, uno que es el efecto invernadero.

“La Chimenea Solar convierte la radiación solar (directa y difusa) en electricidad a través de tres principios muy conocidos: el efecto invernadero, la chimenea y la turbina de viento, de manera novedosa”<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> [http://www.sbp.de/es/build/sheet/82-Aufwindkraftwerk\\_Demonstrationsanlage.pdf](http://www.sbp.de/es/build/sheet/82-Aufwindkraftwerk_Demonstrationsanlage.pdf)

<sup>19</sup>idem

El principio de Funcionamiento de una chimenea solar, se da por un fenómeno llamado convección de aire, el aire frío entra la base de la chimenea donde está un invernadero de cristal para calentar el aire. El fenómeno llamado convección natural hace que el aire fluya hacia el centro de la chimenea para que este salga impulsado hacia la parte superior, de esta forma se aprovecha la energía cinética del tiro de aire para mover un generador eólico ubicado en la base de la chimenea para obtener energía eléctrica de forma limpia y natural.

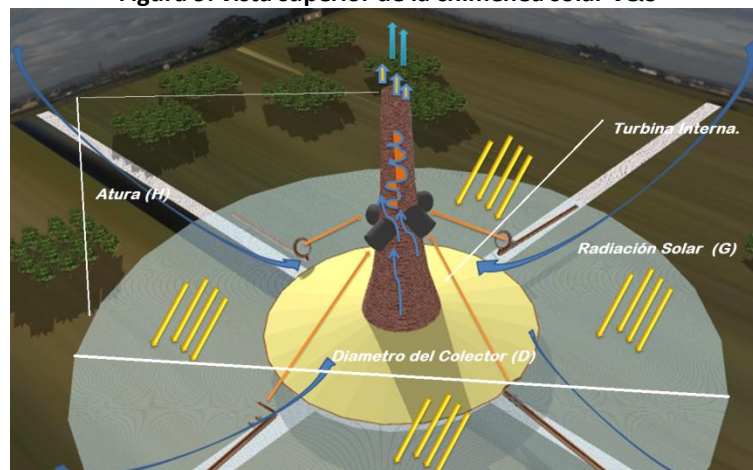
En el efecto invernadero se ubican colectores solares, que pueden ser tubos de agua o grandes bolsas de agua que se calientan en el día almacenando calor para liberar calor, y garantizar un funcionamiento constante por las noches.

Pues, como se busca vencer la diferencia de temperatura existente entre el punto más bajo de la chimenea y el más alto, se colocaran lentes cóncavos que lleven la radiación solar a un punto medio de la chimenea para que nuevamente el aire se caliente y este pueda ser aprovechado al momento de su salida.

El rendimiento global en generación de electricidad de una central termo solar está en torno al 16-20%.

## 11. PRINCIPIO MATEMÁTICO

Figura 9: vista superior de la chimenea solar V&S



Autor: ing. Víctor Silvera Bolaño

### 11.1. MODELO MATEMÁTICO Y SUSTENTABLE DE LA CHIMENEA JVR

El modelo matemático presentado muestra una base para el entendimiento del alcance del prototipo de torre solar JVR, este es un diseño con patente española y europea.

Las fórmulas que se presentan en este documento suponen los siguientes valores para una mayor comprensión.

La densidad del aire se interpreta como 1,225 kgm<sup>3</sup>. Se supone que la temperatura ambiente es de 27 grados °C. Y que G es la potencia en W/m<sup>2</sup>, en este caso de 1000 Wm<sup>2</sup> y limitando las posibilidades del generador eólico al límite, que es el 59% en la mejor de sus posibilidades; Tf es la temperatura del fluido y Ta es la temperatura ambiente del aire, ambos en °C.

**Altura de la torre:** 125 m

**Diámetro interior de la Torre:** 50 m

**Diámetro del invernadero:** 300 m

**Nº de helióstatos de 624 X 120 m<sup>2</sup>**

**Altura del invernadero hasta los acumuladores=** en ascenso desde 1m en la entrada a 4 la mayor altura y de media 2m en 150 metros de radio con 300 de diámetro total.

En este informe se supondrá que va a funcionar sin el invernadero irradiado, y sí como una torre normal al que se le proyecta la energía de los helióstatos en el primer tercio de la torre, bien en toda su periferia o bien desde la parte norte en un ángulo de 180º de su circunferencia por 4 m de altura. Los cálculos se expondrán de esta forma con turbinas eólicas verticales o en la entrada de la base.

La parte de invernadero que será para generar electricidad en horas nocturnas o sin energía solar, tan sólo se tendrá en cuenta para los cálculos con el fin de ver qué energía conseguiremos en W de irradiación y la que conseguiríamos al final del día para aplicarla a generar energía, la cual pudiera ser de muchas formas ya que la tendríamos almacenada.

Potencia eléctrica que se desea conseguir= de 10 a 20 MW Supongamos en este caso que la potencia eléctrica es la de 20 MW

**El área total irradiada** en la zona de invernadero es de:  $A = R^2 \cdot \pi$

$$A = 150^2 \cdot \pi = 70650 \text{ m}^2 \quad (1)$$

**La irradiación solar total** en la zona de invernadero es de:

$$\text{Rad} - i = 70650 * 1000 = 70650000 \text{ W (71Mw)} \quad (2)$$

**En el caso de la Torre JVR**, la energía del invernadero se va acumulando en fluidos que la circundan y acumuladores cerámicos durante las horas de sol, ya que no se usa para generar ningún tipo de energía secundaria que transmita la que se recibe, por ello la instalación acumularía energía durante las horas diurnas. En un día de 10 horas efectivas de energía solar:

$$\text{Rad-i} = \pi * 300^2 / 4 * 1000 * 10 = 707 \text{ MW} \quad (3)$$

Por lo que tendremos 706,685 megavatios para ser usados durante las horas nocturnas para generar diferentes energías posibles.

La radiación total de los helióstatos que enfocará al interior de la torre a una altura aproximada de 20 metros desde su base y a 24 m del suelo o firme, y a través de una pantalla transparente, es de:

$$\text{Rad} = 624 * 120 * 1000 \text{ W} = 74,880 (75) \text{ MW} \quad (4)$$

*El rendimiento global diurno es de:  $n = Er/71$*

$$n = 20/75 = 0.26\% \quad (5)$$

*Con el invernadero en nocturno: 0.28%*

**La superficie de entrada y salida** de la torre o área del interior de la torre es de un radio de 25m por lo que su área o salida es:  $Sc = \pi * r^2$

$$\text{Área de la torre:} = \pi * 25^2 = 1963 \text{ m}^2 \quad (6)$$

**La corriente de aire, como energía cinética** que circula por el interior de la torre, es la potencia disponible para ser convertida en corriente eléctrica:

$$Fl = \frac{\text{Rad}}{\eta}$$

$$\text{Flujo} = \frac{75}{0.26} = 28.8 \text{ Mw (29 Mw)} \quad (7)$$

**La velocidad dentro de la torre** sería de:  $Vt (2 * Fl) / p * \pi * r^2 \wedge (1/3)$

$$\text{Velocidad de la torre: } Vt = \sqrt[3]{\left(2 * \frac{29}{1.225 * \pi * 25^2}\right)} = 29 \text{ ms} \quad (8)$$

Con un flujo total del aire de:  $F_m = p \cdot S_c \cdot V_t$ .

$$F_m = 1.225 \cdot 1963 \cdot 29 = 6970 \text{ kg/s} \quad (9)$$

$$\text{Área de entrada inferior } A_s = \pi \cdot 70^2 \cdot 4 = 879 \text{ m}^2 \quad (10)$$

(50, Diámetro; 4 altura de la embocadura)

Velocidad en el área de entrada inferior de la torre:  $V_{bt} = F_m \cdot b \cdot A_s$

$$V_{bT} = 6970 / 1.225 \cdot 879 = 50 \text{ m/s} \quad (11)$$

Ante ello y para al fin obtener un resultado de la posible energía que pudiera dar, mediante los generadores, evaluando el máximo del 59%, nos limitaremos al flujo del interior de la torre con su área interior de la torre de 1963m<sup>2</sup> y con la velocidad resultante de  $V_t$  de 29 ms. por lo que

**que la energía resultante para eólica es:**

$$E = \frac{1}{2} \cdot b \cdot \pi \cdot A^2 \cdot V_t^3 \cdot 59/100 \quad (12)$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 29^3 \cdot \frac{59}{100} = 17300000 \text{ w ( 17 Mw)} \quad (13)$$

Por ello la potencia eléctrica de la torre JVR podría alcanzar fácilmente los **17 Mw**.

Este modelo matemático de cálculos de la chimenea solar JVR, se pudo observar que son cálculos para un prototipo que además de tener un invernadero como colector, también posee colectores solares a 20 metros de altura del suelo los cuales son calentados por espejos esto con el fin de aumentar la eficiencia, disminuir el tamaño de la estructura y poder tener una mayor generación de energía eléctrica, a pesar de ser una estructura muy compleja este documento nos muestra una forma muy sencilla de calcular la potencia, que podemos generar en una chimenea solar con las características antes mencionadas. Pero este documento es algo directo y no tiene en cuenta variables importantes como lo son las diferentes presiones que se presentan en el interior de la chimenea, la diferencia de densidades que se da por el aumento de la temperatura dentro de la chimenea la capacidad calorífica del aire. Estas son variables que se deben tener en cuenta para el cálculo de una chimenea, ya que si se tiene el control de estas variables se puede controlar el flujo de aire que se forma dentro de la chimenea,

con el control de este flujo podemos saber y controlar las rpm de la turbina dependiendo la velocidad del flujo de aire que circula a través de la chimenea.

### **11.2. MODELO MATEMÁTICO CHINEA SOLAR O TORRE SOLA DE TIRO ASCENDENTE**

A través del análisis de las principales variables que influyen en el funcionamiento de la chimenea solar se puede determinar la potencia total de la chimenea de una forma sencilla, a continuación se muestra la expresión matemática que describe esta potencia:

$$P = Q_{Solar} * \eta_{colector} * \eta_{torre} * \eta_{turbina} = Q_{solar} * \eta_{plant} \quad (1)$$

$P$  = Potencia de salida de la chimenea solar

$Q_{Solar}$  = Cantidad de energía solar

$\eta_{colector}$  = eficiencia del colector solar

$\eta_{torre}$  = eficiencia de la torre

$\eta_{turbina}$  = eficiencia de la turbina

$\eta_{plant}$  = sumatoria de la eficiencia del colector, la torre y la turbina

La cantidad de energía solar aprovechada por los colectores solares se determina multiplicando la radiación horizontal global por el área total de los colectores, A continuación se muestra la expresión matemática:

$$Q_{solar} = G_h * A_{colector} \quad (2)$$

$G_h$  = Radiación horizontal global

$A_{colector}$  = Área total del colector

El calor producido por el colector crea un flujo de aire ascendente que lleva una gran cantidad de energía cinética, la cual es aprovechada y convertida en energía potencial al momento que esta hace contacto con las aspas de la turbina. Esto sucede porque al momento de ser aumentada la temperatura por los colectores, esta crea una diferencia de densidad en el aire del interior de la chimenea, con respecto al aire del exterior haciendo que funcione como una fuerza impulsadora. Esto crea una diferencia de presión entre la base de la chimenea y la parte superior de esta. Esta diferencia de presión se expresa matemáticamente así:

$$\Delta p_{tot} = g * \int_0^{H_{torre}} (\rho_a - \rho_{torre}) * dH \quad (3)$$

$\Delta p_{tot}$  = Diferencia de presión total  
 $g$  = Gravedad 9.8 m/seg<sup>2</sup>  
 $\rho_a$  = Densidad del aire ambiente  
 $\rho_{torre}$  = Densidad del aire dentro de la torre  
 $H$  = Altura de la torre

**Esta expresión matemática muestra claramente que la diferencia de presión (  $\Delta p$  ) es directamente proporcional a la altura de la torre (  $H$  ).**

Esta diferencia de presión se divide en una presión estática y una dinámica, despreciando para estas las perdidas por fricción en la chimenea. Siendo la expresión matemática la siguiente:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_s + \Delta p_d \quad (4)$$

$\Delta p_s$  = diferencia de presión estática  
 $\Delta p_d$  = diferencia de presión dinámica

Siendo la presión estática la que se presenta en la turbina, la presión dinámica es la que representa la energía cinética del flujo de aire ascendente. Con la diferencia entre la presión total y el caudal volumétrico del aire haciendo  $\Delta p_s = 0$  la potencia total que se encuentra en el flujo es:

$$P_{tot} = \Delta p_s * V_{torre,max} * A_{coll} \quad (5)$$

$P_{tot}$  = potencia total  
 $\Delta p_s$  = diferencia de presión estática  
 $V_{torre,max}$  = velocidad máxima de la torre  
 $A_{coll}$  = Área total del colector

La eficiencia de la torre la podemos determinar de la siguiente forma:

$$\eta_{torre} = \frac{P_{tot}}{Q} \quad (6)$$

La diferencia de presión en la torre depende de la cantidad de energía adsorbida por la turbina, si logramos la velocidad máxima de la torre y la diferencia de presión total la se utiliza para acelerar el aire, la energía cinética total se convierte en la potencia total así:

$$P_{tot} = \frac{1}{2} * m * V_{torre,max}^2 \quad (7)$$

$m$  = masa del flujo de aire

$V_{torre,max}$  = velocidad máxima de la torre

Usando la aproximación de Boussinesq (Unger, 1988), la velocidad alcanzada por las corrientes de convección libre se puede expresar como:

$$V_{torre,max} = \sqrt{2 * g * H_{torre} * \frac{\Delta T}{T_0}} \quad (8)$$

$V_{torre,max}$  = velocidad máxima de la torre

$g$  = Gravedad 9.8 m/seg<sup>2</sup>

$H$  = Altura de la torre

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura

$T_0$  = Temperatura Inicial

Siendo la eficiencia de la torre la siguiente:

$$\eta_{torre} = \frac{g * H}{c_p * T_0} \quad (9)$$

$\eta_{torre}$  = eficiencia de la torre

$g$  = Gravedad 9.8 m/seg<sup>2</sup>

$H$  = Altura de la torre

$c_p$  = Constante de presión

$T_0$  = Temperatura Inicial

En el segundo modelo matemático (Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems – Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation) Diseño de sistemas de energía solar comercial. Torre de corriente de aire ascendente, nos muestra un modelo matemático más completo con respecto al primero, ya que este tiene en cuenta variables que se consideran principales en este sistema de generación eléctrica como; la presión del sistema a cualquier altura de la chimenea, el manejo de las temperaturas de entrada y salida, la diferencia de densidad del aire del sistema con respecto al aire del ambiente. Así pues, tienen en cuenta un punto muy importante que es, la obtención de la eficiencia de cada parte de la chimenea por separado como la del colector o invernadero la eficiencia de la turbina la eficiencia de la torre, esto nos da una visión de cuanto es de eficiente nuestra máquina de generación eléctrica, con



estos valores de eficiencia podemos determinar si diseño propuesto es viable o no , podemos hacer mejoras a cada parte de la chimenea por separado para hacer que aumente su rendimiento como máquina.

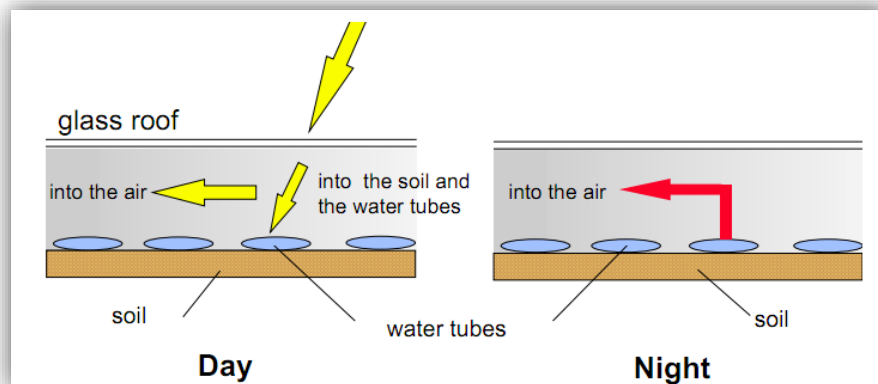
## 12. PARTES FUNDAMENTALES DE LA CHIMENEA

### 12.1. COLECTOR

EL Colector es una de las partes más importante de la chimenea, garantiza el funcionamiento en las noches, el aire es calentado por los colectores y este garantiza un buen funcionamiento, estos están colocados a unos cuantos metros del suelo de forma horizontal, pueden ser de material de vidrio o plástico.

Para poder obtener un almacenamiento térmico se plantea el siguiente mecanismo. Tubos negros llenos de agua uno al lado del otro este mecanismo fue planteado por (Kreetz 1997). Los tubos una vez llenos de agua no volverán a abrirse.

Figura 10: Principio de almacenamiento de energía térmica con Lleno de agua, tubos

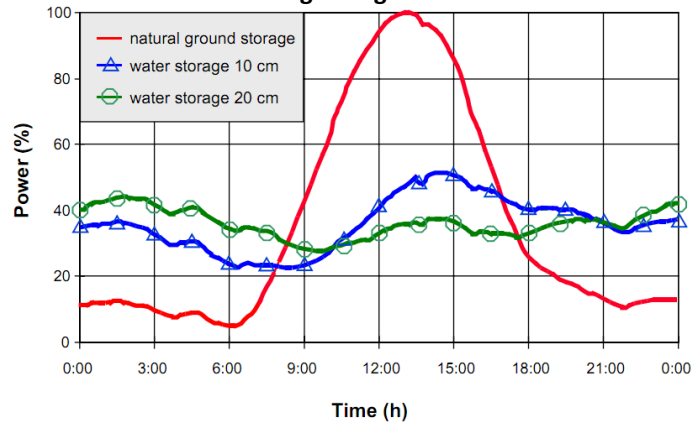


AUTOR: KREETZ, H (1997).

El volumen de agua para los tubos está en un rango de 5 a 20 cm dependiendo la capacidad de almacenamiento requerido. En las noches cuando el calor del colector comience a enfriarse, el agua comenzará a liberar el calor almacenado en ella durante el día así la chimenea trabajará con mayor eficiencia, que solo con el calor del suelo ya que el agua tiene la capacidad de absorber calor 5 veces más que el suelo. <sup>20</sup>

<sup>20</sup> Jörg Schlaich, Rudolf Bergemann, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe, Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems – Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation, Pág. 3 document: PDF.

**Figura 11: Efecto de la acumulación de calor debajo de la techo colector con tubos llenos de agua negro. Resultados de la simulación.**



Autor: Kreetz, H. 1997.

## 12.2. TORRE

Es la parte más importante de la chimenea, donde ocurre el proceso y donde se da la producción de energía eléctrica, gracias al flujo de las corrientes de aire que se genera por las diferencias de presiones, la relación que existe entre la temperatura el flujo de aire y la altura de la torre, se puede controlar la velocidad del flujo de aire si se tiene una diferencia aproximada, ya que la mayoría de esta velocidad se pierde en la turbina del generador.

## 12.3. TURBINAS

“La turbina obtiene la energía mecánica de la corriente de aire generada en la chimenea. La turbina de la chimenea solar trabaja igual que la de una central hidroeléctrica, la cual la presión estática se convierte en energía mecánica rotacional usando turbinas de entubados, la velocidad el aire antes y después de la turbina es aproximadamente la misma. La energía producida es proporcional al caudal y la diferencia de presión en la turbina, al controlar estas variables se busca maximizar la producción y la eficiencia del sistema.

La producción también depende de la posición del Angulo de las aspas de la turbina, la máxima caída presión en la turbina debe ser del 80 % de la diferencia de presión total disponible, en esta también interviene las perdidas por fricción de las aspas de la turbina”.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Jörg Schlaich, Rudolf Bergemann, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe, Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems – Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation, Pág. 3 document: PDF.

#### **12.4. OPTIMIZACIÓN**

La electricidad producida por una torre de aire ascendente, está en proporción a la intensidad de la radiación solar global de colector, área y altura de la torre. Hay de hecho, no física óptima el tamaño de dichas plantas. Las dimensiones óptimas se pueden calcular sólo mediante la inclusión de los costos de los componentes específicos (colector, torre, turbinas) para sitios individuales. Y por lo tanto, las plantas de los diferentes óptimas dimensiones clave será construido para diferentes sitios pero siempre a un coste óptimo: si el área de colector es barato y el hormigón caro que el colector será grande y la torre relativamente pequeño, y si el mismo es caro habrá un pequeños colectores y una alta torre.

# ***CAPÍTULO 5***

---

CÁLCULOS Y ANÁLISIS DEL PRÓTIDO DE LA CHIMENEA SOLAR.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES

ANEXOS

### 13. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DEL PRÓTIDO DE LA CHIMENEA SOLAR.

Las características que se tomaron en cuenta para cálculos del prototipo de la chimenea costera son las siguientes:

**Altura de la torre:** 10 m

**Diámetro interior de la Torre:** 5 m

**Diámetro del invernadero:** 100 m

**Nº de helióstatos de** 100 X 28,27 m<sup>2</sup>

**Altura del invernadero hasta los acumuladores** es de 2m en 50 metros de radio con 100 de diámetro total.

Potencia eléctrica que se desea conseguir= de 2000 Kw

**El área total irradiada** en la zona de invernadero es de:  $A = R^2 \cdot \pi$

$$A = 50^2 \cdot \pi = 7853 \text{ m}^2 \quad (1)$$

**La irradiación solar total** en la zona de invernadero es de:

$$Rad - i = 7853 \cdot 1000 = 7853000 \text{ W (7.8MW)} \quad (2)$$

La Acumulación de energía e efectiva durante el día para la costa Caribe es de 10 horas según el IDEAN.

$$Rad-i = \pi \cdot 100^2 / 4 \cdot 1000 \cdot 10 = 78,53 \text{ MW} \quad (3)$$

Por lo que tendremos 78539 kilo vatios para ser usados durante las horas nocturnas para generar diferentes energías posibles.

La radiación total de los espejos o helióstatos, es de:

$$Rad = 100 \cdot 28,27 \cdot 1000 \text{ W} = 28275433,3 \text{ W} = (2,8) \text{ MW} \quad (4)$$

**El rendimiento global diurno** es de:  $n = Er / 2,8$

$$n = 2 / 2,8 = 0.71\% \quad (5)$$

**Con el invernadero en nocturno:** 0.026%

**La superficie de entrada y salida** de la torre o área del interior de la torre es de un radio de 2,5 m por lo que su área o salida es:  $Sc = \pi * r^2$

$$\text{Área de la torre: } = \pi * 2,5^2 = 19,6 \text{ m}^2 \quad (6)$$

**La corriente de aire, como energía cinética** que circula por el interior de la torre, es la potencia disponible para ser convertida en corriente eléctrica:

$$Fl = \frac{Rad}{\eta}$$

$$Flujo = \frac{2,8}{0,71} = 3,94 \text{ Mw} \quad (7)$$

**La velocidad dentro de la torre** sería de:  $Vt (2 * Fl) / p * \pi * r^2 \wedge (1/3)$

$$\text{Velocidad de la torre: } Vt = \sqrt[3]{\left(2 * \frac{3,94}{1,22 * \pi * 25^2}\right)} = 68 \text{ ms} \quad (8)$$

**Con un flujo total del aire de:**  $Fm = p * Sc * Vt$

$$Fm = 1.225 * 19,63 * 68 = 1635,17 \text{ kg/s} \quad (9)$$

$$\text{Área de entrada inferior } As = \pi * 25^2 * 4 = 314 \text{ m}^2 \quad (10)$$

(5, Diámetro; 4 altura de la embocadura)

**Velocidad en el área de entrada inferior** de la torre:  $Vbt = Fm * b * As$

$$VbT = 1635 / 1.225 * 879 = 4,25 \text{ m/s} \quad (11)$$

Eficiencia del generador 59%

Area inferior de la chimenea 314 m<sup>2</sup>

Velocidad resultante de la entrada 4,25 m/s

La energía eólica resultante es:

$$E = \frac{1}{2} * b * \pi * A^2 * Vt^3 * 59/100$$

$$E = \frac{1}{2} * 1.225 * \pi * 2,5^2 * 4,25^3 * \frac{59}{100} = 544,69 \text{ w}$$

Por ello la potencia eléctrica de la torre es de 544,69

La siguiente tabla nos muestra los factores verdaderos para el funcionamiento y rendimiento de la chimenea solar.

**Tabla 1. Las dimensiones típicas y la producción de electricidad**

<b>Capacity</b>	<b>MW</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
tower height	m	550	750	1000	1000
tower diameter	m	45	70	110	120
collector diameter	m	1250	2900	4300	7000
electricity output <sup>A</sup>	GWh/a	14	99	320	680
<sup>A</sup> at a site with an annual global solar radiation of 2300 kWh/(m <sup>2</sup> a)					

## **14. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA**

Además de trabajar en un principio muy simple, la energía solar las torres tienen una serie de características especiales:

1. El colector puede utilizar toda la radiación solar, tanto directa como difusa. Esto es crítico para los países tropicales donde el cielo es frecuentemente nublado.
2. Las torres de aire ascendente puede operar las 24 h en debido al almacenamiento de la energía solar en los colectores, los tubos de agua adicionales y los sacos colocados en el techo colector absorben parte de la energía radiada durante el día y lo libera en el colector por las noches, Así como las torres solares pueden funcionar como base de carga como las plantas de energía.
3. Las torres solares son una tecnología confiable ya que en comparación con otras fuentes de energía, su funcionamiento es automático las Turbinas mueven el generador gracias al flujo de aire constante, estas plantas son consideradas como plantas de generación sin contaminación y libres de combustible Fósiles.
4. A diferencia de las centrales eléctricas convencionales hay también algunos otros energías solares térmicas, las torres solares no necesitan refrigeración por agua. Esto es una ventaja clave en países que ya tienen grandes problemas con el suministro de agua.
5. Los materiales de construcción necesarios para las torres solares, principalmente hormigón y vidrio, están disponibles en todas partes en cantidades suficientes. De hecho, con la energía tomada desde la torre solar, la energía solar pueden producir energía en grandes cantidades. El tiempo de recuperación de la inversión de este tipo de tecnología es de dos a tres años.
6. Incluso en los países pobres es posible construir una gran planta sin un alto gasto en moneda extranjera, mediante el uso de locales recursos y la fuerza de trabajo, lo que crea un gran número de puestos de trabajo vez que reduce significativamente la inversión de capital y por lo tanto el costo de generar electricidad es realmente bajo. Sin embargo, las torres solares también tienen características que hacen menos adecuados para algunos sitios:

Para esto se requieren grandes extensiones de terreno plano. Esta tierra debe estar disponible a bajo costo, lo que significa que no debe haber el uso de la competencia, como por ejemplo, la agricultura intensiva.

Las torres solares no son adecuadas en áreas propensas a terremotos, porque los costos de la torre aumentarían drásticamente.



## 15. METODOLOGÍA

### 15.1. TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio de la presente investigación es descriptivo, ya que se quiere investigar. En cuanto a los objetivos y el diseño pretendiendo describir algunas características fundamentales de la chimenea solar y los fenómenos naturales de la chimenea, tal como se presentan en la realidad sin exagerar y poniendo a disposición algunos conceptos básicos al lector de este proyecto, utilizando criterios sin llegar a explicar la naturaleza de las variables.

### 15.2. EL DISEÑO Y MÉTODO

El método es bibliográfico y el diseño es Analítico, porque parte de los conceptos existentes para ser comparados y evaluados con la finalidad de comprender las investigaciones ya existentes, y ser tomadas en cuenta para establecer nuevas teorías con la cual se pueda explicar el objeto estudiado hacer analogías y comprender mejor su comportamiento.

## 16. CRONOGRAMA

<i>Objetivos a Cumplir</i>	<i>Días</i>	<i>Fecha de Inicio</i>	<i>Fecha Final</i>
Analizar y conocer la historia con las diferentes definiciones conceptuales de la chimenea solar.	179 días	03/06/2010	08/02/2011
Analizar los principios de funcionamiento de la chimenea y como se genera la energía eléctrica.	21 días	08/02/2011	08/03/2011
Identificar los diferentes estudios y proyectos chimeneas solares existentes en diferentes partes del mundo.	21 días	08/02/2011	08/03/2011
Estudiar los diferentes modelos matemáticos para implementación en una futura continuación del proyecto de investigación.	54 días	08/03/2011	20/05/2011
Analizar y determinar cuál es el método matemático adecuado para los cálculos a avance de la próxima investigación del proyecto de joven investigador de la Corporación Universitaria de la Costa	62 días	20/05/2011	15/08/2011
Entrega de Proyecto	16 días	15/08/2011	05/09/2011

## CONCLUSIONES

- Dentro de los resultados se reunió la información y conceptos adecuados para dar inicio a la Investigación de joven investigador convocada por Colciencias el periodo 2011 – 2.
- Con los conceptos investigados por medio el método bibliográfico se dará a conocer a la comunidad educativa de la Corporación Universitaria de la Costa, los diferentes prototipos de chimeneas existentes y la ventajas que tiene este tipo de tecnología en comparación a los métodos de generación de energía convencionales.
- Los conceptos matemáticos se analizaron y se comprendió el principio de funcionamiento de la chimenea solar matemáticamente.
- Se dio una breve descripción de cuál sería nuestra posible método matemático a utilizar para el desarrollo de la investigación propuesta a joven investigador.
- No hay daño ecológico y un consumo de recursos mínimos, en la construcción la torre predominan los compuestos de hormigón y cristales, además de la energía autogenerada es una fuente verdaderamente sostenible que depende del sol y el viento.
- En este análisis se comparan los resultados obtenidos del cálculo de la chimenea solar en condiciones climáticas de la región caribe colombiana, a un tamaño regular, con una altura de 10 m, con un diámetro de la torre: 5 m y diámetro del invernadero de 100 m, lo que se pudo comprobar que los prototipos con dimensiones de menor tamaño como la que se calculó, podemos analizar en los resultados matemáticos que estos no son satisfactorio ya que la eficiencia de este prototipo es muy baja a pesar de que se realizaron modificaciones para aumentar su rendimiento, pero no se descarta que si se lleva el diseño a un prototipo experimental se pueda hacer pruebas para comprobar los resultados teóricos, debido a que las aspas tomadas en cuenta son de eje vertical y las que pensamos poner en el prototipo son de eje horizontal, es bueno mencionar que no todas las condiciones se están tomando en cuenta.
- Se analizó el prototipos con respecto a la tabla No.1, para que una chimenea sea provechoso y se pueden obtener buenos resultados la alturas de la torre debe ser 550 metros en adelante para obtener o resultados de 5 MW, esto resultados fueron cálculos gracias al prototipo de manzanares, es por esto

que por los cálculos obtenido nos dimos cuenta que el factor más importantes que afecta el rendimiento de la producción de la energía eléctrica en la chimenea es la altura y el diámetro el invernadero como pudimos comprobar si en esta clase de tecnología se depende lo suficientes de la diferencia de temperatura, densidad y presión del aire, que se dan dentro de la chimenea con respecto al ambiente.

- El diámetro del colector es indispensable ya que esté, en condiciones ideales es el que produce el efecto invernadero y el volumen de aire que se maneja dentro de él, es el que se encarga de mover la turbina. Estos dos factores aumentan la eficiencia de la chimenea a mayor altura y diámetro.
- Se pudo analizar que el prototipo expuesto que en con la altura expuesta en este proyecto y el diámetro disminuye el flujo de aire ascendente y por consiguiente la energía cinética del flujo y la velocidad que es aprovechada para mover la turbina, si vemos la potencia que queremos obtener es de 2000 W y solo con las condiciones de del prototipo solo obtendremos 544,69 W esto indica que solo obtenemos un rendimiento del 27%.

## ANEXOS

En estos anexos se quiere mostrar la trayectoria y desarrollo que a tenido este proyecto de investigación desde sus inicios hasta la fecha de presentación del presente trabajo de grado, en materia de divulgación ha sido reconocido tres veces a nivel departamental y una nivel nacional e internacional como proyecto Sobresaliente y Meritorio, por al Red colombiana de Semilleros de Investigación – RedCOLSI, Que organiza anualmente el encuentro departamental de semilleros de investigación y Nacional e internacional, a continuación mostramos las evidencias.

### Anexo 1

Se puede verificar el proyecto inicio en modalidad de propuesta, para la RedCOLSI las propuestas deben ser presentadas en posters por normativas propias de la fundación.



## Anexo 2

Proyecto de investigación

**DISEÑO DE UNA CHIMENEA AEROSOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA**

Grupo de Investigación: **GIOPEN** Corporación Universitaria de la Costa, CUC.

Autores: **Victor Silveira Bolaño - Iván Ravelo Rojas**

### RESUMEN

Con el diseño de un prototipo de chimenea aerosolar para la generación de energía eléctrica se pretende de una manera innovadora aplicar los avances tecnológicos en Energías Renovables para el estudio de nuevas tecnologías, además como resultado del trabajo se realizarán toma de datos que, con la actualización y registro de información estadística referente al comportamiento de diferentes variables adaptadas a las condiciones de la región, permitirán la mejora en el rendimiento del prototipo diseñado. Teniendo en cuenta que hoy en día existe una carrera contra el tiempo para encontrar nuevas alternativas de generación de energía eléctrica, y aprovechando la búsqueda de nuevas propuestas para la generación de energía, este trabajo permitirá ser utilizado como herramienta de estudio dentro de la Institución para desarrollar el tema de las Tecnologías Renovables.

Figura de referencia.



### INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen pequeñas poblaciones en las cuales es difícil tener acceso a un servicio de energía eléctrica. Este proyecto puede suplir esa necesidad ya que solo utiliza la fuerza del viento y la energía del sol, en la parte ambiental. La chimenea aerosolar se encuentra dentro de los proyectos limpios. En el aspecto económico es un proyecto costoso, esto en cuanto a infraestructura, solo al inicio, pero sabemos que con el tiempo se convertirá en una muy buena inversión porque la generación de esta energía es más económica pues son fuentes inagotables.

### DESARROLLO

En la base superior, el colector solar almacena la energía de la luz solar (Fig. 1), los rayos del sol atraviesan la base que se encuentra de un color azul claro, y entre la capa terrestre junto con la base superior se producirá el efecto invernadero para hacer que el aire que circula por este lugar se caliente y sea más ligero y menos denso para que pueda subir con mayor rapidez, y éste con su velocidad mueve las turbinas de la base de la chimenea solar (Fig. 2), y otra turbina en la parte superior (ver Fig. 3) marcado como Generador 3.

Figura No. 1. Vista superior de la chimenea solar



Figura No. 2. Vista de los generadores de la base de la chimenea solar.



Figura No. 3. Esquema general de la chimenea solar



Figura No. 4. Chimenea aerosolar para la generación de energía



### CONCLUSIONES

Con la realización de este diseño se establece si el proyecto es viable, además podrá utilizar el prototipo de chimenea aerosolar en la investigación con aplicación en el laboratorio de energías renovables. Además, con la implementación de este proyecto se estaría logrando generar energía y esto permitirá a futuro ayudar a satisfacer la demanda de energía que existe actualmente, disminuyendo también la contaminación ambiental por causa de los combustibles fósiles.

### BIBLIOGRAFIA

- Roberto E. Lucier, chimenea solar, proyecto manzanares España, 1975.
- ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS; Departamento De Desarrollo Sostenible. Nuevas oportunidades para la energía sostenible en respuesta al cambio climático. Proyectos MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) En América Latina Y El Caribe, SERIE DE POLITICAS NO. 11, Mayo de 2007.
- REVISTA DE NATIONAL GEOGRAPHIC, Las Energías del futuro, Pág. 2, Agosto de 2005

www.cuc.edu.co

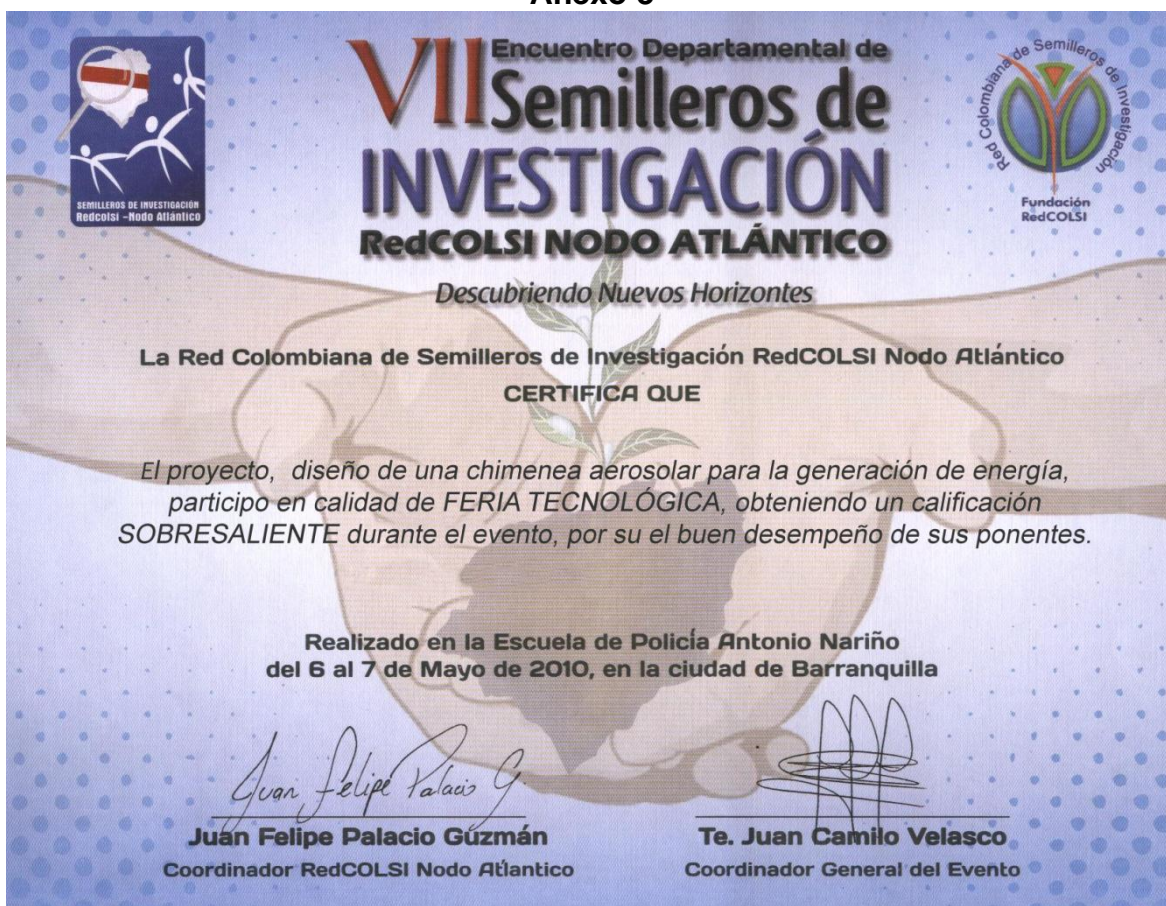


**CUC**  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA  
INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Se Anexa poster que se utilizó para la presentación del proyecto, como podemos ver el diseño inicial era muy sencillo y solo se fijaba el los elementos fundamentales de la chimenea como los son la torre, el invernadero y la los espejos, pero lo interesantes que hacia este propuesta eran los colectores solares en medio de la torre.



### Anexo 3



Reconocimiento el encuentro Departamental de Semilleros de Investigacion RedCOLSI.

#### Anexo 4



Este certificado fue uno de los más grandes reconocimientos del proyecto, porque es a nivel nacional e internacional presentado por: IVAN RAVELO ROJAS.

## **Anexo 5**

*Propuesta de Joven investigador.*

PROYECTO DE JOVENES INVESTIGADORES

Aspirante: ING. VÍCTOR SILVERA BOLAÑO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
UTILIZANDO TECNOLOGÍA TIPO CHIMENEA SOLAR PARA LA REGIÓN  
CARIBE COLOMBIANA

Área estratégica: Energía y Recursos Naturales

Líneas de Investigación del grupo con la que se relaciona la investigación:

Fuentes Renovables de Energía

Tutor: MILEN BALBIS MOREJÓN.

### **RESUMEN**

La presente investigación parte de un modelo para la generación de energía eléctrica utilizando tecnología tipo chimenea para la región Caribe colombiana en los sectores de la Guajira, el Magdalena y el Atlántico. De esta forma las Chimeneas Solares se convierten en estructuras horizontales, que utilizan en sus bases grandes invernaderos para producir el efecto de convención. Esta clase de tecnología de generación alternativa no se ha visto antes implementada en Colombia y, por tanto, se pretende modelar una futura construcción con condiciones propias de cada territorio mencionado, teniendo en cuenta las características de cada una, para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica en las poblaciones más vulnerables y las zonas no interconectadas, adaptando la tecnología ya existente a nivel mundial.

Desde el 2007, se está trabajando en la búsqueda de información sobre la tecnología que se estudia en este proyecto, tomando experiencias en otros países, con lo que se construye un modelo de referencia, realizando algunas evaluaciones preliminares en la Corporación Universitaria de la Costa-CUC, que llevaron a concluir en la necesidad de iniciar una investigación donde mediante el diseño de un nuevo modelo, considerando las variables y factores necesarios para el diseño de una chimenea solar en los territorios escogidos, sirviera para modelar y analizar su comportamiento y establecer parámetros de construcción de un prototipo de chimenea solar adaptada a las condiciones de la región Caribe colombiana.



El proyecto mencionado es desarrollado dentro del grupo de Investigación en Optimización Energética (GIOPEN) en la línea de investigación de fuentes renovables de energía, que apoya en el fortalecimiento, desarrollo del modelo y mejora de la tecnología.

## PALABRAS CLAVES

Energía Renovable, Tecnología, Chimenea Solar, Generación distribuida, Desarrollo.

## OBJETIVOS

### GENERAL:

☐ Diseñar un sistema de Generación Eléctrica tipo chimenea solar adaptada a las condiciones de la Región Caribe Colombiana, en los territorios de la Guajira, Magdalena y el Atlántico.

### ESPECÍFICOS:

☐ Analizar las diferentes tecnologías tipo chimenea solar existente a nivel mundial.

☐ Identificar variables y factores necesarios para el diseño de una chimenea solar en los territorios escogidos.

☐ Modelar la chimenea solar teniendo en cuenta las variables y factores identificados.

☐ Analizar el comportamiento de las variables que intervienen en el diseño de la chimenea solar.

☐ Establecer parámetros de construcción de un prototipo de chimenea solar adaptada a las condiciones de la región Caribe colombiana.

☐ Proponer la construcción de la tecnología para generación distribuida en zonas no interconectadas de la región Caribe colombiana.

## ESTADO DEL ARTE

Las Energías Renovables están revolucionando el mundo de la generación de energía eléctrica; muchos países en desarrollo ya han comenzado a aprovechar los recursos renovables que nos brinda el planeta tierra.

La tierra, es un planeta lleno de recursos naturales, donde los recursos no renovables han sido protagonistas en el mundo de la generación, pero infortunadamente alguno de esos recursos se están agotado y contamina el medio ambiente, causándole al mundo un impacto negativo, como lo es el aceleramiento del calentamiento global.

Los seres humanos están en la búsqueda de nuevas alternativas de generación de energía, la contaminación del petróleo, sus derivados y el carbón han obligado a buscar fuentes menos contaminantes al planeta, que ayuden a suplir la demanda de la generación y al desarrollo social, económico, ambiental mitigando el calentamiento global.

“La energía producida por el sol es inmensa. En las regiones ecuatoriales la radiación solar puede sobrepasar los 1.000 Watts/m<sup>2</sup>, siendo equivalente a la mitad de la potencia de una hervidora de agua eléctrica si es un día soleado” ; por tanto, se puede deducir que el sistema estudiado será alimentado por la fuente de energía más grande del universo. Por ello, la propuesta presentada es una posible solución social y tecnológica, dentro de las tecnologías de generación distribuida.

### Diferentes Estudios Y Proyectos De Chimeneas En El Mundo

A nivel del mundo existen diferentes propuestas para construcción de otros prototipos como:

- Diseño y Construcción de la chimenea Solar Enviro Mission en Mildura (Australia).

- Construcción de Chimenea Solar en España en la localidad de Fuente del fresno, Ciudad Real, (Castilla la Mancha).
- Proyecto de Construcción chimenea solar en Arabia Saudita; sin embargo, no ha sido posible averiguar más detalles sobre esta central.
- En Chile, se desarrolla un proyecto, con la concepción de una chimenea solar acostada, que consiste en construir la torre o chimenea sobre la ladera de una elevación inclinada.

“El primer prototipo de este medio de generación de energía se dio en España en la localidad de Machenga de Manzanares, financiada por el Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología (BMFT), con la colaboración de la empresa eléctrica española Unión Fenosa” .

## NORMAS QUE REGULAN EL USO DE LOS RECURSOS RENOVABLES EN COLOMBIA

En Colombia el CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE, DECRETO 2811 DE 1974, en su ARTICULO 1o. dice que: “El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social”.

La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social

Según el Ministerio de Energía y la UPME, “El Plan Visión Colombia 2019, así como del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 y de manera coherente el PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2006–2025 CONTEXTO Y ESTRATEGIAS, y PROURE del Ministerio de Minas y Energía, Mediante Resolución 180919 del 1° de junio de 2010, se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía no Convencionales, han puesto como eje de sus propuestas el desarrollo sostenible, que debe ser conducente al crecimiento económico, a elevar la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

El objetivo central de ellos es:

Maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del País

El desarrollo sostenible conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades” .

## LA RADIACIÓN SOLAR EN LA COSTA CARIBE COLOMBIANA

La costa Caribe colombiana es un área geográfica que disfruta de una alta exposición solar acompañados por pocos días nublados. Además, cuenta con una temperatura ambiental relativamente alta que favorece el rendimiento de los sistemas solares.

“La principal fuente de energía para casi todos los procesos atmosféricos la constituye la energía radiada por el Sol hacia la Tierra, en el rango de la onda corta entre 0,1 mm hasta aproximadamente 30 mm, y las unidades utilizadas para medir la radiación son calorías/cm<sup>2</sup>. A su vez, la Tierra y la atmósfera emiten su propia radiación, pero en otras longitudes de onda (onda larga). La radiación solar que llega al tope de la atmósfera sufre en su camino una serie de transformaciones producidas por procesos de atenuación. La radiación que llega del Sol a la superficie de la Tierra se llama radiación directa; la parte que es difundida por las partículas atmosféricas y nubes llega a la Tierra en forma de radiación difusa. La suma de estas dos se denomina radiación global, en cuanto se refiere a la magnitud y distribución de la radiación global en el territorio.

La región de mayor radiación solar en Colombia es la península de La Guajira y sus valores máximos se presentan en el mes de julio, con promedios superiores a 650 cal/cm<sup>2</sup>/día. Este valor desciende gradualmente hasta diciembre, mes en que se presenta el valor mínimo de 530 cal/cm<sup>2</sup>/día.

Con el mismo comportamiento durante el año, le sigue la parte media del valle geográfico del río Cauca, el valle del río Magdalena hasta la costa Atlántica y la zona de Cúcuta. Los valores extremos se presentan en julio y diciembre con valores de 550 y 450 cal/cm<sup>2</sup>/día, respectivamente” .

## DESCRIPCIÓN TÉCNICA

“La Chimenea Solar convierte la radiación solar (directa y difusa) en electricidad a través de tres principios muy conocidos: el efecto invernadero, la chimenea y la turbina de viento, de manera novedosa.

El aire caliente, producido por la radiación solar bajo la gran cubierta de cristal, fluye hacia la chimenea situada en el centro y es impulsado hacia arriba. Esta succión activa las turbinas instaladas al pie de la chimenea produciendo energía” .

Con esta investigación se busca dar un avance en materia del rendimiento y diseños de los sistemas de chimeneas a nivel de generación de energía eléctrica existentes, el prototipo modelado consta de una estructura vertical cónica, que en su base tiene un invernadero de cristal para calentar el aire. El fenómeno llamado convección natural hace que el aire fluya hacia el centro de la chimenea para que este salga impulsado hacia la parte superior, esta succión activa las turbinas instaladas al pie de la chimenea para producir la energía eléctrica, pero a medida que el aire va ascendiendo este va perdiendo calor, haciéndose más pesado al momento de salir, esto ocasiona un bajo rendimiento en estos sistemas, el prototipo que llamamos chimenea aerosolar planteado anteriormente en una investigación del grupo GIOPEN, daba una mejora con el fin de vencer la diferencia de temperatura existente, se trataba de colocar seis grandes lentes cóncavos ubicados en la parte superior del invernadero que dirigen la luz solar al medio de la chimenea, en medio de esta tenemos colectores de luz solar, con la finalidad de calentar nuevamente el aire y este salga a una mayor velocidad para mejorar su rendimiento y ver si lográbamos vencer la diferencia de temperatura y disminuir el tamaño de las chimeneas para que ocupen menos espacios, con los resultados arrojados buscamos adaptar el sistema a condiciones de la región Caribe Colombiana para darle continuidad a esta investigación.

## DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño de la investigación según el análisis y alcance de los resultados, es analítico-cuantitativo, ya que se pretende analizar y modelar factores y comportamiento natural de la chimenea solar, desarrollado en un período de un año. El método es teórico-práctico y en el enfoque general para abordar los problemas de la ciencia, ya que nos posibilitan la interpretación conceptual de los datos encontrados. En la investigación se cuenta con la asesoría y dirección del Grupo de Investigación en Optimización Energética (GIOPEN), de la Corporación Universitaria de la Costa.

Fase 1:

- Identificar los diferentes conceptos básicos en la historia de las chimeneas solares.
- Estudiaremos los dos elementos más importantes que intervienen en la investigación como lo son la radiación solar y el viento en los lugares escogidos para esta investigación.
- Identificación de los datos de altura y condiciones atmosféricas por datos recogidos por el IDEAM.

#### Fase 2:

- Recolección de la formulas y teoremas que ayuden en el desarrollo de esta investigación.
- Identificación y Toma de datos de aire y radiación Solar en los Sectores escogidos.

#### Fase 3:

- Análisis de los datos y resultados del la investigación.
- Publicación y finalización.

#### Impactos

Con el desarrollo del proyecto se pretende crear un gran impacto en el sector de la generación eléctrica, para los sectores no interconectados del Sistema de Interconexión Nacional (SIN) contribuyendo al desarrollo de la región Caribe colombiana y apoyando al plan de desarrollo de la energía sustentable en Colombia. Se contribuye así al desarrollo de la línea de investigación de fuentes renovables del grupo de investigación GIOPEN.

En lo tecnológico, este proyecto está adaptado a condiciones netamente de la región; por lo tanto, se mejoraran algunos aspectos propios con la finalidad de que la ingeniería en Colombia tenga un desarrollo a nivel de Latinoamérica, de esta forma existe la posibilidad de transferencia tecnológica y la posibilidad de desarrollar e innovar.

En lo social, este proyecto dará desarrollo a las regiones apartadas y rurales de la población más vulnerable, mejorando su nivel de vida de muchos habitantes no

vinculados al Sistema de Interconexión Nacional (SIN), donde es imposible la generación de energía.

En lo Ambiental, este proyecto puede ser incluido dentro de los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), teniendo en cuenta que en Colombia según el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo estos proyectos se utilizan en los territorios no interconectados del país, cubriendo parte de la demanda del territorio, No necesita combustibles fósiles para generación de energía, simplemente funciona con la energía del sol y el viento.

## PLAN DE TRABAJO

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS      ACTIVIDADES

- ☐ Analizar las diferentes tecnologías tipo chimenea solar existente a nivel mundial. 1. Identificar las diferentes tecnologías existentes referentes a chimeneas solares a nivel mundial.
- ☐ Identificar las variables y factores necesarios para el diseño de una chimenea solar en los territorios escogidos. 2. Indagar y analizar los factores que intervienen en el diseño de la chimenea para su aplicación en los territorios escogidos.
- ☐ Modelar la chimenea solar teniendo en cuenta las variables y factores identificados.
- 3. Ejecución y definición de las diferentes fórmulas matemáticas que intervienen en el sistema para el análisis de las variables que intervienen.
- ☐ Analizar el comportamiento de las variables que intervienen en el diseño de la chimenea solar. 4. Identificar los sitios en los cuales se puede llevar a cabo esta clase de proyectos para futuras implementaciones.
- 5. Estudio de las variables del medio ambiente y condiciones climáticas, la región Caribe Colombiana.
- 6. Determinación de la características de funcionamiento
- ☐ Establecer parámetros de construcción de un prototipo de chimenea solar adaptada a las condiciones de la región Caribe colombiana. 7. Análisis de los resultados obtenidos para adaptación a las condiciones y construcción de un prototipo con las condiciones de la región Caribe Colombiana.
- ☐ Proponer la construcción de la tecnología para generación distribuida en zonas no interconectadas de la región Caribe colombiana. 8. Identificación de los lugares y descripción de los resultados para la implementación de modelos en las Zonas más adecuadas de la Región Caribe Colombiana.

Firma \_\_\_\_\_

MILEN BALBIS MOREJÓN.

Tutor de Proyecto de Investigación del Grupo GIOPEN

C.E. 324549

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Case Study of Solar Stoves, Made and Used in the Peruvian Andes, For the Peru Children's Trust, Last updated on 20th February 2005.

[2] PABLO LEYVA, Editor, Director general del IDEAM, El medio ambiente en Colombia, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE REPÚBLICA DE COLOMBIA, Capitulo 3-I, pagina 59, Ed. 2, año 2001.

[3] PÉREZ E (2004). "Utilización de Fuentes Alternas de Energía en Zonas No Interconectadas," en II Encuentro Nacional de uso racional de energía y fuentes de energía no convencionales. Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE).

<<http://www.torre-solar.es/wiki-chimenea-solar.php>>

<<http://www.investigacionaccion.com.ar/media/archivos/842a4734ef15786a18c882c149d44e96.pdf>, pág. 12, FADU – UBA – Metodología 2009 – cátedra GALAN – Bobrow – Rabanal – Testa.>

<<http://www.sitiosolar.com/la%20energia%20solar%20termoelectrica.htm>>

<[http://ecomancha.blogspot.com/2007/11/torre-solar-jvr\\_06.html](http://ecomancha.blogspot.com/2007/11/torre-solar-jvr_06.html)>

*La bibliografía anterior hace parte de la propuesta de joven investigador.*



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] **OMAR FREDY PRIAS CAICEDO**, Consultor, Programa De Uso Racional Y Eficiente De Energía Fuentes No Convencionales – PROURE, Plan De Acción 2010-2015, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, pág. 1, Bogotá D.C., 19 de Abril de 2010.
- [2] **EDUARDO LORENZO**, De Los Archivos Históricos De La Energía Solar (V), Pioneros españoles de las energías renovables, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, PDF, Pág. 6.
- [3] **EDUARDO LORENZO**, De Los Archivos Históricos De La Energía Solar, Las chimeneas solares, de una propuesta española en 1903 a la Central de Manzanares, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, PDF, Pág. 3.
- [4] **Roberto E. Lucier**. Chimenea solar proyecto manzanares, España 1975, Organización de los estados americanos; departamento de desarrollo sostenible, nuevas oportunidades para la energía sostenibles en respuesta al cambio climático, proyecto MDL (mecanismo de desarrollo limpio) en América latina y el Caribe, SERIE DE POLÍTICAS No 11, mayo del 2007.
- [5] **Unidad De Planeación Minero Energética (UPME)**, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Atlas de Viento en Colombia y Energía Eólica de Colombia, Anexo1, pág. 105, 106.
- [6] **Revista national geographic**, las energías del futuro, pág. 2, agosto del 2005
- [7] **SALAH EL-DIN E, EL-METWALLY, WAI-FAHCHEN**, SOLAR CHIMNEYS, A Promising Alternative, University of Hawaii at Manoa, En Anglais, PDF 6.2 Mo.
- [8] **INGENUIN GASSER**, On a Model for a Solar Updraft Tower, ICMS International center of mathematical sciences, Kinetic and Mean-Field Models in the Socio-Economic. Sciences, ICMS, Edinburgh, July 2009, PDF1.3 Mo.
- [9] **BY WILFRIED B. KRÄTZIG, REINHARD HARTE, RALF WÖRMANN**, IASS – IACM 2008; 6th Int. Conference on Computation of Shell and Spatial Structures; “Large Shell Structures for Power Generation Technologies”, , 28 – 31 May 2008 / Cornell University, Ithaca, NY, USA. 89 slides about “Natural draft cooling towers and Solar updraft power plant chimneys”. PDF 8.6 Mo.

**[10] PROF. CHRISTOS D. PAPAGEORGIOU**, Solar Aero-Electric power plant with Floating Solar Chimney for Deserts,, NTUA Greece, PDF 6.6 Mo

**[11] JÖRG SCHLAICH & GERHARD WEINREBE SCHLAICH**, Solar Updraft Towers for IRAN, 2008 SUTA Re-Union; Presented by Dr Khakzar, PDF from from PDF 2.7 Mo.

**[12] rof. Dr.-Ing. Reinhard Harte, Rüdiger Höffer**, Wilfried B. Krätzig, Hans-Jürgen Niemann; from KRÄTZIG & PARTNER Bochum Group on Solar Power Technologies PDF 4 Mo

**[13] Martin Thomas**, Progress with the EnviroMission Solar Tower, "were we where in septembr 2001, where we are in june 2003, PDF 0.9 Mo

**[14] WOLFGANG SCHIEL**, Solarthermische Stromerzeugung, Zentrale und Dezentrale Solarthermische Kraftwerke; VDE Tagung Hamburg Okt. 2003, (Schlaich Bergermann und Partner), PDF 3.8 Mo

**[15] Michael Farrenkopf, Jörg Heinrich**, Michael Kuhn, Anna Lena Stenglein, Solarthermische Stromerzeugung Aufwindkraftwerk Regenerative Energietechnik Production d'énergie renouvelable : Cheminées Solaires, Solaire Thermique, 10.11.2009 PDF 3.9 Mo.

**[16] PROF. DR. PETER NOVAK**: Solar electricity production POSSIBILITIES in LIBYA; BIG SUN – solar power from Nord Africa; by, ENERGOTECH, LJUBLJANA, SLOVENIA, PPS 1.4 Mo

**[17] MAEL THOMAS**,: Les Tours Solaires, Ecole des Mines de Nancy, En Français, documento PPS 0.7 Mo.

**[18] VOLKAN CIRDAKLI**, The Solar Chimney, Department of Physics, Middle East Technical University,06531 Ankara/TURKEY, En Anglais, PPS 0.7 Mo.

**[19]Andrianto Handojo**, Menara surya (solar tower) Teknologi Alternatif untuk Energi Alternatif, Dewan Riset Nasional PPS 1.3 Mo.

**[20] Jörg Schlaich, Rudolf Bergermann**, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe, Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems – Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation, Pág. 3 document: PDF.

## **REFERENCIAS ELECTRONICAS**

<[http://eleves.mines.inpl-nancy.fr/~thoma1013/Tour\\_Solaire.ppt](http://eleves.mines.inpl-nancy.fr/~thoma1013/Tour_Solaire.ppt)>

<<http://www.tour-solaire.fr>>

<<http://data.tour-solaire.fr/pps/cheminee-solaire-description.pps>>

<[http://data.tour-solaire.fr/pps/LES\\_PROJETS\\_DE\\_TOURS\\_SOLAIRES\\_GEANTES\\_fev-2010.pdf](http://data.tour-solaire.fr/pps/LES_PROJETS_DE_TOURS_SOLAIRES_GEANTES_fev-2010.pdf)>

<<http://www.gescam.cl/Actualidad/Chimenea.pdf>>

<<http://www.sbp.de>>

<[http://www.physics.metu.edu.tr/~ecevit/projects/471projects/2004-5\\_1.semester/471-2004-1-solarchimneys-VolkanCirdakli.ppt](http://www.physics.metu.edu.tr/~ecevit/projects/471projects/2004-5_1.semester/471-2004-1-solarchimneys-VolkanCirdakli.ppt)>

<[http://www.eng.hawaii.edu/~panos/444\\_09\\_5\\_7.pdf](http://www.eng.hawaii.edu/~panos/444_09_5_7.pdf)>

<<http://www.cc.state.az.us/divisions/utilities/electric/EPS-SFWG.ppt>>

<[http://www.eng.hawaii.edu/~panos/444\\_09\\_5\\_7.pdf](http://www.eng.hawaii.edu/~panos/444_09_5_7.pdf)>

<<http://www.icms.org.uk/downloads/markowich/Gasser.pdf>>

<[http://ecommons.library.cornell.edu/bitstream/1813/11662/10/02\\_Plenary\\_by\\_Kraetzig\\_89.pdf](http://ecommons.library.cornell.edu/bitstream/1813/11662/10/02_Plenary_by_Kraetzig_89.pdf)>

<[http://dspace.library.cornell.edu:8080/bitstream/1813/11550/6/P4\\_Kraetzig\\_Extended\\_Abstract.pdf](http://dspace.library.cornell.edu:8080/bitstream/1813/11550/6/P4_Kraetzig_Extended_Abstract.pdf)>

<<http://www.floating-solar-chimney.gr>> and <<http://www.matineeenergy.com>>

<<http://www.let-group.com/iss09/iss.nsf/>>

<<http://www.suta.org/reunion08/post/Khakzar-6.pdf>>

<[http://www.ruhr-uni-bochum.de/imperia/md/content/asib/sccn\\_solar\\_chimney.pdf](http://www.ruhr-uni-bochum.de/imperia/md/content/asib/sccn_solar_chimney.pdf)>

<<http://www.kraetzigundpartner.de>>

<[http://notes.chem.usyd.edu.au/course/schmidt/chem3adv/Chem%203%20\(adv\)-3.ppt](http://notes.chem.usyd.edu.au/course/schmidt/chem3adv/Chem%203%20(adv)-3.ppt)>

<<http://www.enviromission.com.au>>

<<http://www.eastmarinedrive.com/edulinks/Xfiles/aussietower.pdf>>

<<http://www.enviromission.com.au>>

<[\[electrification.com/cms/upload/pdf/Presentations\\\_Jordanian\\\_Delegation\\\_Visit/\]\(http://www.rural-electrification.com/cms/upload/pdf/Presentations\_Jordanian\_Delegation\_Visit/\)](http://www.rural-</a></p></div><div data-bbox=)

[05\\_Schlaich\\_Bergermann\\_\\_Partner\\_20071126.pdf](http://www.rural-electrification.com/cms/upload/pdf/Presentations_Jordanian_Delegation_Visit/05_Schlaich_Bergermann__Partner_20071126.pdf)>

[http://www.rural-](http://www.rural-electrification.com/cms/upload/pdf/Presentations_Jordanian_Delegation_Visit/05_Schlaich_Bergermann__Partner_20071126.pdf)

[electrification.com/cms/upload/pdf/Presentations\\_Jordanian\\_Delegation\\_Visit/05\\_Schlaich\\_Bergermann\\_\\_Partner\\_20071126.pdf](http://www.rural-electrification.com/cms/upload/pdf/Presentations_Jordanian_Delegation_Visit/05_Schlaich_Bergermann__Partner_20071126.pdf)>

<http://www.ren-energy.it/save/documenti/doc/Tornadoxinoltro.pdf>>

<<http://www.ren-energy.it/save/documenti/doc/ALL%2013%20Artificial%20tornado-new-presentation%20mod.pdf>>

<[www.technik.webword.de/referate/aufwindkraftwerke.ppt](http://www.technik.webword.de/referate/aufwindkraftwerke.ppt) >

<[http://www.vde.com/de/fg/ETG/Archiv-](http://www.vde.com/de/fg/ETG/Archiv-Bis2004/Ueber%20Uns/Documents/MCMS/2_6_schiel3.pdf)

[Bis2004/Ueber%20Uns/Documents/MCMS/2\\_6\\_schiel3.pdf](http://www.vde.com/de/fg/ETG/Archiv-Bis2004/Ueber%20Uns/Documents/MCMS/2_6_schiel3.pdf)>

<<http://www.pa.msu.edu/~bauer/Energie/Talks/04-Solarthermie.ppt>>

<[http://www.hs-augsburg.de/~solon/ET-R%20-](http://www.hs-augsburg.de/~solon/ET-R%20-%20Alle%20Referate/Aufwindkraftwerk-PDF.pdf)

[%20Alle%20Referate/Aufwindkraftwerk-PDF.pdf](http://www.hs-augsburg.de/~solon/ET-R%20-%20Alle%20Referate/Aufwindkraftwerk-PDF.pdf) >

<<http://www.scribd.com/doc/7722881/Teknologi-Alternatif-untuk-Energi-Alternatif>>

<[http://www.gov.cn/english/2010-12/28/content\\_1773883.htm](http://www.gov.cn/english/2010-12/28/content_1773883.htm)>

<<http://www.ccchina.gov.cn/en/NewsInfo.asp?NewsId=26743>> <<http://www.solar-tower.org.uk/news-informations-en.php>>

<<http://www.takungpao.com/news/china/2010-12-28/382785.html>>

<<http://source.takungpao.com/news/10/12/28/ZM-1335069.htm>>

<<http://jzjn.sun0769.com/view.asp?id=1862> >